

Aus dem Institut für Pflanzenernährung
der Justus Liebig-Universität Gießen
Direktor: Professor Dr. Dr. h. c. H. Linser

Der Einfluß gesteigerter Gaben von Stickstoff, Bor,
Kupfer, Mangan und Zink auf Ertrag, Nährstoff-
gehalt und Nährstoffentzug bei Tomaten und Mais

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
im Fachbereich „Ernährungswissenschaften“
der Justus Liebig-Universität Gießen

Eingereicht von
Dipl. Landw. Hans Richard Schönheit

1974

Gießen 1973

Aus dem Institut für Pflanzenernährung
der Justus Liebig-Universität Gießen
Direktor: Professor Dr. Dr. h.c. H. Linsér

Der Einfluß gesteigerter Gaben von Stickstoff, Bor,
Kupfer, Mangan und Zink auf Ertrag, Nährstoff-
gehalt und Nährstoffentzug bei Tomaten und Mais

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
im Fachbereich „Ernährungswissenschaften“
der Justus Liebig-Universität Gießen

Eingereicht von
Dipl. Landw. Hans Richard Schönheit

Gießen 1973

Aus dem Institut für Pflanzenzüchtung
des Justus Liebig-Universitäts-Garten
Leiden; Professor Dr. Dr. h. c. H. Linser

Der Einfluss gesteigerter Gabe von Stickstoff, Bor,
Kupfer, Mangan und Zink auf Ertrag, Nährstoff-
gehalt und Nährstoffentzug bei Tomaten und Mais



Dekan: Prof. Dr. E. Menden

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. h. c. H. Linser

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. h. c. E. v. Boguslawski

Tag der mündlichen Prüfung: 27. Juni 1974

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
A. EINLEITUNG	5
B. DIE PHYSIOLOGISCHE BEDEUTUNG DER NÄHRSTOFFE BOR, KUPFER, MANGAN UND ZINK UND IHRE WIRKUNG AUF DEN ERTRAG UND DIE QUALITÄT DER PFLANZE	9
C. DIE AUFNAHME DER NÄHRSTOFFE UND IHRE GEGENSEITIGE BEEINFLUSSUNG IN DER PFLANZE	20
I. Die Nährstoffaufnahme	20
II. Die gegenseitige Beeinflussung der Nährstoffe bei der Aufnahme durch die Pflanze	23
D. EIGENE UNTERSUCHUNGEN ZUR PROBLEMSTELLUNG	35
I. Vegetationsversuche mit Tomaten	35
1. Sandkulturversuche 1961	35
a) Methodik und Versuchsbedingungen	35
b) Wachstumsbeobachtungen	39
c) Versuchsergebnisse: Ertrag, Nährstoff- gehalt und Nährstoffentzug	44
2. PVC-Kulturversuche 1962	79
a) Methodik und Versuchsbedingungen	79
b) Wachstumsbeobachtungen	83
c) Versuchsergebnisse: Ertrag, Nährstoff- gehalt und Nährstoffentzug	88

	Seite
3. Wasserkulturversuche 1961	124
a) Methodik und Versuchsbedingungen	124
b) Wachstumsbeobachtungen	127
c) Versuchsergebnisse: Ertrag, Nährstoff- gehalt und Nährstoffentzug	131
II. Vegetationsversuche mit Mais	168
1. Wasserkulturversuche 1961	168
a) Methodik und Versuchsbedingungen	168
b) Wachstumsbeobachtungen	169
c) Versuchsergebnisse: Ertrag, Nährstoff- gehalt und Nährstoffentzug	173
E. DISKUSSION	188
I. Ertragsverhältnisse	188
II. Mineralstoffhaushalt	199
F. ZUSAMMENFASSUNG	206
G. BILDER	209
H. LITERATURVERZEICHNIS	215

A. LEITUNG

Der Ablauf normaler Lebensvorgänge, wie es z.B. Wachstum und Reproduktion darstellen, ist an die Zufuhr und Aufnahme bestimmter Nährstoffe gebunden. Während der Mensch und das Tier zur Deckung ihres Nährstoffbedarfs vorwiegend auf organische Substanzen angewiesen sind, vermag die Pflanze durch ihren spezifischen Aufbau allein von anorganischen Stoffen zu leben.

Bereits im 19. Jahrhundert - z.Zt. Justus von Liebig - erkannte man, daß die höhere Kulturpflanze zu ihrer Ernährung 10 Elemente benötigt, und zwar Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor, Eisen, Kalzium, Magnesium und Kalium, wobei die 6 zuletzt genannten die eigentlichen mineralischen Grundstoffe darstellen (SCHARRER 1953, 1955).

Aus neueren Untersuchungen geht hervor, daß man heute etwa 50 bis 60 der im Periodensystem vorkommenden Elemente aufgrund verbesserter analytischer Methoden in den Pflanzen nachweisen kann (BERGMANN 1958). Jedoch sind nicht alle für ein normales Wachstum unbedingt notwendig. Eingehende Untersuchungen der letzten Jahrzehnte haben bewiesen, daß neben den bereits erwähnten 10 klassischen Elementen ebenso Bor, Kupfer, Mangan, Zink und Molybdän für ein gesundes Pflanzenwachstum im Nährmedium vorhanden sein müssen.

Ein essentielles Element muß nach ALLEN und ARNON (1955) folgende Bedingungen erfüllen:

1. Ein normales Pflanzenwachstum ist bei völliger Abwesenheit des betreffenden Elementes unmöglich.
2. Auftretende Mangelsymptome müssen bei Zufuhr des betreffenden Elementes behoben werden.
3. Das betreffende Element darf nicht durch ein anderes ersetzt werden können, d.h. es muß streng spezifisch wirken.

Bis heute haben sich 15 bis 18 Elemente als lebensnotwendige Pflanzennährstoffe herausgestellt (SCHARRER 1955, STOUT 1956, MENGEL 1965). Im allgemeinen teilt man die minerali-

schen Nährstoffe in zwei große Gruppen ein.

Zu der ersten Gruppe, den sogenannten Makronährstoffen, rechnet man N, P, K, Ca, Mg, S und Fe, die von den Pflanzen in größeren Mengen aufgenommen und verwertet werden. Sie stellen nicht nur Bausteine organischer Verbindungen und Strukturen dar, sondern sie sind auch eng mit dem Ablauf des pflanzlichen Stoffwechsels verbunden. Das Eisen wird von einigen Forschern, u.a. von HEWITT (1957) und NICHOLAS (1961), bereits zu den Mikronährstoffen gezählt.

Diese zweite Gruppe umfaßt die Elemente, die für die Ernährung der Pflanzen mengenmäßig nur eine untergeordnete Rolle spielen, jedoch als Nährstoffe unentbehrlich sind. Hierzu gehören B, Cu, Mn, Zn und Mo. Von Bor abgesehen, das innerhalb dieser Gruppe eine Sonderstellung einnimmt, rechnet man sie zu den Übergangselementen. Ihre chemischen Eigenschaften und die Tatsache, daß bereits geringe Mengen dieser Mikronährstoffe für ein normales Wachstum ausreichen, lassen darauf schließen, daß sie katalytische Funktionen im Stoffwechsel des lebenden Organismus zu erfüllen haben. In Ionenform steuern sie viele chemische Reaktionen, indem sie diese beschleunigen oder aber auch hemmen. Ihre Bedeutung ist vor allem im Zusammenhang mit dem Ablauf enzymatischer Reaktionen zu sehen, der in vielen Fällen auf den Valenzwechsel dieser Schwermetalle zurückzuführen ist. In ihrer Wirkungsweise ähneln Mangan und Zink teils dem Magnesium.

Während Bor und Molybdän als Anion in Form ihrer Oxokomplexe ($B_4O_7^{2-}$, MoO_4^{2-}) in die Pflanze gelangen, erfolgt die Aufnahme des Kupfers, Mangans und Zinks als Kation oder als Metallchelate.

Da es sich bei den erwähnten Mikronährstoffen B, Cu, Mn, Zn und Mo um essentielle Nährstoffe handelt, die einen tiefgreifenden Einfluß auf den Ertrag und die Qualität höherer Pflanzen ausüben, führen Mangel oder Überschuß dieser Ele-

mente zu mehr oder weniger stark ausgeprägten Wachstumsstörungen.

Aus den überaus zahlreichen Fragestellungen, die mit der Wirkungsweise und dem Bedarf des Organismus an diesen hochwirksamen Nährstoffen im Zusammenhang stehen, soll im Rahmen dieser vorliegenden Arbeit der Einfluss gesteigerter B-, Cu-, Mn- und Zn-Gaben auf den Ertrag und die mineralische Zusammensetzung der Pflanze herausgegriffen werden.

Viele Forscher haben sich im Verlauf der letzten Jahrzehnte mit der Bedeutung der Mikronährstoffe für die Pflanze und den damit in Verbindung stehenden Problemen beschäftigt. Ergebnisse über entsprechende Versuche liegen in großer Anzahl vor. Jedoch umfassen sie meistens nicht den gesamten Bereich der Mikronährstoffernährung - vom Mangel bis zum toxischen Überschuß -, oder die geringe Anzahl der Werte ist für eine exakte Aussage unzureichend. Auch weisen die Grundbedingungen der einzelnen Versuche (Klima, Bodenarten, Grunddüngung, Feld- und Gefäßversuche, verschiedene Nährsubstrate, Pflanzenarten, Pflanzenalter u.ä.m.) erhebliche Unterschiede auf. Die Mikronährstoffzufuhr erfolgt sowohl in Form leichtlöslicher als auch schwerlöslicher Verbindungen in Substanzen, als reine Salze, kombiniert mit anderen Düngemitteln und als Abfallprodukte. Die in der Literatur auffindbaren Resultate entstammen nicht nur monofaktoriellen, sondern auch polyfaktoriellen Versuchen. Durch diese unterschiedlichen Versuchsbedingungen kommt es zu mannigfaltigen, sich oft widersprechenden Ergebnissen.

Ein Vergleich und eine Deutung der Nährstoffwirkung auf das Pflanzenwachstum und die Pflanzeninhaltsstoffe sind daher selbst für einen einzelnen Nährstoff sehr schwer. Viel problematischer wird es aber noch, wenn man mehrere Nährstoffe in ihrer Wirkung gegenüberstellt und vergleicht. Während für die Makronährstoffe in dieser Hinsicht gewisse Klarheit herrscht, fehlt es noch an entsprechenden Kenntnissen für

die Mikronährstoffe.

Da es relativ nur wenige Böden in Deutschland mit Mikronährstoffmangel gibt und schon gar keine, in denen alle für die Landwirtschaft unentbehrlichen Mikronährstoffe gleichzeitig in unzureichender Menge vorliegen, wurden für die in dieser Arbeit durchgeführten Versuche Substrate verwendet, von denen man absoluten oder relativen Mikronährstoffmangel erwarten durfte. Außerdem kam es darauf an, die Nebenwirkungen des Bodens auszuschalten.

Hierzu boten sich drei Kulturarten an, und zwar Sand-, FVG- und Wasserkultur. Als Versuchspflanze diente die Tomate und im Wasserkulturversuch noch zusätzlich der Mais. Die Versuche wurden so geplant, daß die hier zur Anwendung und zur Untersuchung gelangenden Nährstoffe, nämlich variierte Gaben von Bor, Kupfer, Mangan und Zink, einen Vergleich zuließen. Die Nährstoffsteigerungen wurden in der Weise gewählt, daß sich die Versorgung der Pflanzen mit diesen Elementen vom Mangel bis zum starken Überschuß erstreckte. Jeder Versuch setzte sich aus 9 Varianten mit je 4 Wiederholungen zusammen.

Gleichzeitig wurde jeweils ein entsprechender Stickstoffversuch parallel geschaltet. Stickstoff wurde als Vertreter der Makronährstoffe als Vergleichsbasis deshalb gewählt, da ohne dieses Element jegliches Leben undenkbar ist. Er ist der wesentliche Bestandteil der Proteine und Proteide, die als Träger der Fermentsysteme im Stoffwechsel der lebenden Zelle von größter Bedeutung sind. Selbst der primitivste Organismus kann nicht ohne diese Substanzen existieren.

B. DIE PHYSIOLOGISCHE BEDEUTUNG DER NÄHRSTOFFE BOR - KUPFER - MANGAN UND ZINK UND IHRE WIRKUNG AUF DEN ERTRAG UND DIE QUALITÄT DER PFLANZE

Bor:

Wie bereits erwähnt, ist Bor im Gegensatz zu den übrigen Mikronährstoffen ein Nichtmetall und wird von der Pflanze als Anion aufgenommen. Seine physiologische Wirkung im Stoffwechsel und im Aufbau der Pflanzenzelle ist auch heute noch nicht bis ins einzelne geklärt. Jedoch scheint es nicht wie Kupfer, Mangan, Zink und Molybdän enzymatische Reaktionen zu aktivieren, zu beschleunigen oder zu hemmen, wenn auch derartige Ergebnisse und Vermutungen in der Literatur auftauchen (REED 1947, KRAUJA 1958, MACHE 1960).

Noch ungeklärt ist die Wirkungsweise des Bors bei der Photosynthese, die es zu beeinflussen scheint.

So konnte MININBERG (1962) feststellen, daß Bor die Stabilität des Chlorophyll-Protein-Komplexes förderte und erhöhte, und zwar besonders unter heißen und trockenen klimatischen Bedingungen. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch SCHKOLNIK und SAAKOV (1964). Bor hemmte insbesondere in Verbindung mit Mangan in Bohnen den Rückgang der photosynthetischen Rate in den Mittagsstunden. Auch wurde die Translokation der Assimilationsprodukte aus den Blättern verstärkt. Einen günstigen Effekt des Bors auf die Intensität der Photosynthese konnte TAGI-ZADE (1962) beobachten. Nach SUIKOVSK'YI (1963) erhöhte Bor den Gehalt an Chlorophyll a und b in Mais und Gerste.

Mit Sicherheit ist aber bei Bormangel der Kohlenhydrattransport in der Pflanze gehemmt. Die in den photosynthetisch aktiven Blättern gebildeten Assimilate werden schlecht abgeleitet und reichern sich an, so daß es schließlich in den meristematischen Geweben der Wurzeln und der oberirdischen Pflanzenteile zu Zuckermangel kommt (MC ILRATH und PALSER 1956, CDPHOFF 1957, 1961).

GAUCH und DUGGER (1953,1954) nehmen an, daß Bor die Verlagerung der Kohlenhydrate innerhalb der Pflanzen durch Bildung ionisierter Bor-Kohlenhydrat-Komplexe begünstigt. weiterhin vermuten sie, daß die Wachstumshemmungen bei Bormangel durch Zuckermangel hervorgerufen werden. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch SISLER et al. (1956) und MITCHELL et al. (1960). MC ILRATH und PALSER (1956), ODHNOFF (1957), SKOK (1957 a,b; 1958), MC ILRATH und SKOK (1958), NEALES (1959 a,b) und WHITTINGTON (1959) zweifeln zumindest die primäre Bedeutung des Bors in diesen Theorien an. Nach ihren Untersuchungen ist Bor vor allem als unentbehrlicher Baustein meristematischer Gewebe der Pflanzen anzusehen. ODHNOFF (1961) vertritt die Ansicht, daß der Einfluß des Bors auf das wurzelwachstum als eine Wirkung auf die Zellwand anzusehen ist, wobei gleichzeitig neue Mikrofibrillen eingelagert werden sollen. Der Einfluß des Bors auf die Zellwandstruktur wurde von zahlreichen Forschern betont, u.a. von SCHMUCKER (1934), TORSELL (1954) und SPURR (1957). Wahrscheinlich begünstigt es die Pektinablagerung in den Mittellamellen der Zellwände.

Nach WHITTINGTON (1957,1959) und MC ILRATH und SKOK (1958) ist oft die Zellteilungsquote bei Bormangel herabgesetzt. Letztere stellten aber fest, daß unter diesen Umständen die Zellenanzahl nicht annähernd so schnell abnimmt wie das Trockengewicht, was auch von ODHNOFF (1961) bestätigt wird. ROHDE (1951) und DYAR und WEBB (1961) nehmen an, daß das Bor für den Wuchsstoff-Stoffwechsel, vielleicht sogar für die Wuchsstoffsynthese selbst notwendig ist.

Bei Pflanzen mit Bormangel soll nicht nur der Kohlenhydrat-, sondern auch der Eiweißhaushalt gestört sein, wobei es zur Anhäufung größerer Mengen löslicher Stickstoffverbindungen kommt, was im Zusammenhang mit den oben erwähnten Translokationsstörungen zu sehen ist (SCHARRER 1957).

SCHKOLNIK und SOLOVEVA-TROICKAJA (1962) schließen aus ihren Versuchsergebnissen, daß das Bor eine Funktion bei der Biosynthese der Nukleinsäuren ausübt. Bei Bormangel war der Gehalt an Ribonukleinsäure herabgesetzt. Auch ALBERT (1965)

kam zur gleichen Schlußfolgerung.

Nach EATON (1944) und SKOK und MC ILRATH (1958) ist die Borbeweglichkeit innerhalb der Pflanze sehr gering. Das einmal im Stoffwechsel gebundene Bor steht weiteren physiologischen Vorgängen nicht mehr zur Verfügung. Anhand von Versuchen mit Tabak-Blattstecklingen mit geteilten Wurzelsystemen schließt SCHOLZ (1960), daß der Bortransport nur in einer Richtung verläuft.

Bor scheint auch einen regulierenden Einfluß auf den Wasserhaushalt der Pflanzen auszuüben (DORFMÜLLER 1941, BIBBEL 1942 und SCHROPP 1957).

Die große Bedeutung des Bors, besonders für den Ertrag und die Qualität der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen, konnte immer wieder festgestellt werden (SCHARRER und Mitarbeiter 1953, JAKOLEWA 1958, WASHENIN und BELJAKOWA 1958, WASSJUK 1959, MAYNARD et al. 1959, TAYLOR und JOINER 1963, AGERBERG und ROATS 1964).

Im Vergleich zu den übrigen Pflanzenorganen sind besonders die Blätter und die Samenanlagen der Pflanzen reich an Bor (OTTING 1951, RIEHM 1957 und SYWOTKIN 1958). O'KELLY (1957) stellte fest, daß zum Keimen der Pollenkörner und für ein normales Wachstum der Pollenschläuche Bor erforderlich ist.

Bormangel wirkt sich, wie bereits erwähnt, besonders auf das meristematische Gewebe aus; der Vegetationskegel stirbt ab, Seitenknospen treiben aus (buschiger Habitus); Stengel, Stiele und Blätter brechen leicht ab (Sellerie, Tomaten), was in der anglo-amerikanischen Literatur mit "cracket stem" bezeichnet wird. Weitere Bormangelsymptome sind Herzfäule (Zuckerrübe), Glasigkeit (Kohlrübe), Deformationen der generativen Organe, Abfallen der Blüten, oft keine Früchte, bei Fruchtbildung entstehen schorfige Früchte mit korkartigem Gewebe (z.B. Tomaten und Äpfel). Manchmal treten auch Chlorosen auf. - Toxische Borgaben führen zu Blattchlorosen und Blattnekrosen (NICHOLAS 1956).

Kupfer

ARNON und STOUT erbrachten 1939 den Beweis, daß Kupfer für die Pflanzen ein essentieller Nährstoff ist. Im Verlauf der letzten Jahrzehnte konnten viele Einflüsse des Kupfers auf die Lebensvorgänge im Organismus geklärt werden.

Schon 1939 fand NEISH, daß etwa 75% des Gesamtkupfers grüner Blätter in den Chloroplasten lokalisiert sind. Es liegt also die Vermutung sehr nahe, daß das Kupfer an der Photosynthese beteiligt ist. Zu dieser Annahme kamen auch ARNON (1950), BROWN, TIFFIN und HOLMES (1958), WLASSJUK (1959) und DROZDOW (1959). Obgleich auch nach SCHKOLNIK (1958) fast sämtliches Kupfer in den Chloroplasten zu finden ist, ergaben spektralanalytische Untersuchungen von OKUNZOW (1958), daß keine Kupfer-Chlorophyllverbindungen gebildet werden. In Gefäßversuchen ermittelten BROWN und HARMER (1950) in kupfermangelpflanzen (Mais und Weizen) einen niedrigeren Chlorophyllgehalt und geringere Mengen an reduzierenden Zuckern als in normal ernährten Pflanzen.

NASON und MC ELROY (1963) schließen aus ihren Untersuchungsergebnissen, daß das Kupfer bei der Chlorophyllbildung selbst eine gewisse Funktion ausübt. Nach DAWSON (1950) sollen Spuren von Kupfer für den Aufbau der Eisen-porphyrin-Proteine notwendig sein. EICHEL et al. (1950), GREEN (1959) sowie GRIFFITHS und WHARTON (1961) stellten fest, daß Kupfer ein wesentlicher Bestandteil der Cytochrom-c-oxydase - ein kupferhaltiges Hämprotein - ist, das äquimolare Mengen von Fe^{2+} und Cu^{1+} enthält. SANDS und BEINERT (1959) sind der Ansicht, daß Cu^{1+} an der Aktivität des Enzyms beteiligt ist. OKUNZOW (1947, 1958) stellte fest, daß Kupfer dem Chlorophyllabbau entgegenwirkt und die Alterung der Plastiden verzögert, was eine verlängerte Stoffwechselaktivität der Blätter und somit eine höhere Assimilationsleistung bedeutet.

Der Einfluß des Kupfers bei enzymatischen Prozessen ist unbestritten. Z.B. sind einige Kupferoxydasen bekannt, die zur Übertragung von Wasserstoffatomen auf molekularen Sauerstoff be-

fähigt sind, und zwar handelt es sich hierbei um die Laccase, Polyphenoloxydase und die Ascorbinsäureoxydase, die in gewisser Hinsicht in Konkurrenz mit den Cytochromsystemen stehen sollen (MENDEL 1961). KRAUJA (1958), OKANENKO und OSTROWSKAJA (1958) sowie BROWN und FOY (1964) konnten bei mit Kupfer ausreichend ernährten Pflanzen eine Erhöhung der Phenoloxydase, Peroxydase und Ascorbinsäureoxydase feststellen. Gleichzeitig fanden OKANENKO und OSTROWSKAJA (1958) ein enorm niedriges Redoxpotential in Kupfermangelpflanzen.

Eine bedeutende Rolle spielt Kupfer bei der Stickstoff-Fixierung bei Leguminosen. So stellten GREENWOOD und HALLSWORTH (1960), HALLSWORTH et al. (1960), YATES und HALLSWORTH (1963) sowie HALLSWORTH et al. (1964) fest, daß die Stickstofffixierung durch die Wurzelknöllchen des Klees (*Trifolium subterraneum* L.) bei bestimmten Kupferkonzentrationen des Nährmediums verstärkt wird.

ERKANA (1949, 1950) fand eine Beziehung zwischen Kupfer, Mangan und Eisen. Bei Kupfer- bzw. Mangan - gleich ob Mangel oder Überschuß - zeigten sich verschiedene Formen von Chlorosen, die er auf eine Störung des Gleichgewichts im Ferro-Ferri-redoxsystem des Protoplasmas zurückführte.

Bei mangelnder oder toxischer Ernährung der Pflanze mit Kupfer treten nicht nur Qualitätsverschlechterungen, sondern auch gleichzeitig bedeutende Ertragsausfälle auf. Es kommt zu höheren Nährstoffgehalten in den Pflanzen (BROWN, TIFFIN und HOLMES 1958), und der Abtransport von Stickstoff, Phosphor, Eiweiß und Kohlenhydraten z.B. scheint unterbunden zu sein (BACHULIN 1958). Die Ausnutzung der Nährstoffe in Bezug auf die Substanzproduktion wird in jedem Fall stark negativ beeinflusst (SCHARRER und JUNG 1956).

Kupfermangelsymptome sind Chlorose, Nekrose, Welkeerscheinungen, Weißspitzigkeit, gedrehte - und eingerollte junge Blätter, Absterben der Blätter, schlechte Blüten- und Samenbildung,

Absterben junger Triebe bei Obstbäumen. Da Kupfermangel häufig auf Heidesandböden oder anmoorigen Böden vorkommt und besonders bei der Urbarmachung dieser Böden in Erscheinung tritt, spricht man allgemein von der Urbarmachungs- oder Heidemoorkrankheit. In der anglo-amerikanischen Literatur findet man dafür die Bezeichnungen "reclamation disease" oder "yellow tip" und "wither tip" (bei Getreide) sowie "die back" (bei Obstbäumen) (NICHOLAS 1956, WALLACE, T. 1961). Toxische Kupferkonzentrationen im Nährmedium führen zu mehr oder weniger ausgeprägten chlorotischen Symptomen.

Mangan

Mangan vermag, wie auch Kupfer und Zink, zahlreiche Enzymprozesse in der Pflanze zu aktivieren (HEWITT 1951, ANDERSON und EVANS 1956, MUDD und BURRIS 1958 und EYSTER et al. 1958). Es beeinflusst u.a. die Phosphorylierungsreaktionen (WALAAS 1958, FREDRICK 1960) und aktiviert mehrere Enzyme des Trikarbonsäurezyklus (MC'ELROY und NASON 1954, NASON 1958, NASON und MC'ELROY 1963). Aufgrund seines Valenzwechsels ($Mn^{2+} \rightleftharpoons Mn^{3+}$) soll Mangan nach KENTEN und MANN (1953) auch an der Oxydation verschiedener Dikarbonsäuren beteiligt sein. In seiner Wirkungsweise gleicht es sehr dem Magnesium und kann daher von diesem in vielen Fällen ersetzt werden (NASON 1958).

Der günstige Einfluß auf die Photosynthese konnte immer wieder beobachtet werden. So rief Manganmangel bei Lemna einen starken Chlorophyllschwund hervor (MC HARBUE und CALFEE 1932). Ähnliche Angaben über diese Manganwirkung werden von MARTIN (1935), MESSING und OWEN (1954), WLASSJUK (1959) und COOPER und GIRTON (1963) auch für Blätter höherer Pflanzen gemacht. Manganmangel hemmte die Photosynthese in Hafer (GERRETSEN 1949) und in Sojabohnen, wobei gleichzeitig die Respiration herabgesetzt war (COOPER und GIRTON 1963). BURGHARDT (1956) konnte durch direkte Photosynthesemessungen an Spinatblättern die Hemmung der Photosynthese bei Manganmangel bestätigen. Zu entsprechenden Ergebnissen kam RUSZKOWSKA (1964).

nicht nur die Chlorophyll-, sondern auch die Karotinbildung wird durch Mangan aktiviert. Mangansulfat steigerte in den Versuchen von BURGER und HAUGE (1951) den Karotingehalt in den Blättern von Sojabohnen, Mais, Weizen und Hafer. Ebenso berichten EYSTER, BROOK und TANNER (1956, 1958), daß bei Mangankmangel in Chlorella keine Hill-Reaktion stattfand und die Photosynthese reduziert war.

BURSTROMS Vermutungen (1939), daß Mangan bei der Reduktion des Nitrats zu $\text{NH}_2\text{-N}$ eine Rolle spielt, wurde in den vergangenen Jahren des öfteren bestätigt (MASON et al. 1954, MASON 1956, SADANA und MC ELROY 1957).

Hohe Mangankonzentrationen rufen oft Chlorosen in den Pflanzen hervor (RIEDEL 1923, MARTIN 1935, HOPKINS und Mitarbeiter 1944, WARRINGTON 1954, COOPER und GIPSON 1963). Zahlreiche Forscher führen diese Erscheinungen auf eine Störung des Eisenstoffwechsels und auf eine ungünstige Beeinflussung des Eisen-Mangan-Verhältnisses zurück (SOMERS und SHIVE 1942, BAKR-AHMED und TWYMAN 1953, REES und SIDRAK 1961, HIATT und RAGLAND 1963). Andererseits ließen sich keine Beziehungen zwischen dem Eisen-Mangan-Verhältnis und der Chlorose feststellen (SMITH, REUTHER und SPECHT 1950, CARLSON und OLSON 1950, HENKE und MIHATSCH 1963). Versuche von AGARWALA, SHARMA und KUMAR (1964) ergaben, daß das für ein normales Wachstum und den Höchstertrag optimale Eisen-Mangan-Verhältnis in weiten Grenzen schwankt und abhängig von den jeweiligen Mangan- und Eisengaben war. Die zwischen Eisen, Kupfer und Mangan bestehenden Beziehungen wurden bereits unter Kupfer erwähnt.

Der günstige Einfluß des Mangans auf den Ertrag und die Qualität der Pflanzen ist allgemein bekannt. VLASSJUK und FORUCHIJ (1954), VLASSJUK (1958, 1959) konnten wiederholt feststellen, daß Mangan die Zuckerbildung und die Zuckerverlagerung in Zuckerrüben, Tomaten und Erdbeeren förderte, den Zeingehalt im Maiskorn herabsetzte und den Ölgehalt bei Sonnenblumen erhöhte, wobei gleichzeitig der Gehalt an organi-

schen Säuren und die Aktivität der Lipase abnehmen; die Lagerungsfähigkeit der Samen wurde dadurch verbessert. In Versuchen von HENKENS (1962) steigerte Mangan den Ertrag von Kartoffeln und Zuckerrüben (Zucker). Den gleichen Effekt erreichten VLAMIS und WILLIAMS (1964) durch gestaffelte Mangangaben bei Reis und Gerste.

Nicht nur bei Kartoffeln und Hafer, sondern auch bei Gerste, Rüben, Bohnen und Spinat ruft starker Manganmangel erhebliche Ertragsminderungen hervor (SCHARRER 1957).

Über eine positive Wirkung des Mangans auf die Eiweißbildung berichten u.a. GUNZEL (1955) sowie SADAPHAL und DAS (1961). Manganmangel verhinderte die Kornausbildung bei Reis (KARIM und VLAMIS 1962). SCHARRER und WERNER (1957) erzielten durch Mangan einen höheren Vitamin C-Gehalt bei verschiedenen Gemüsen.

Bei Manganmangel kommt es bei Pflanzen zu spezifischen Krankheitsbildern (NICHOLAS 1956, WALLACE, T. 1961). Kartoffeln und Hafer zeigen auf den Blättern, entlang der Blattnerven braune Flecken. In der anglo-amerikanischen Literatur werden diese Mangelsymptome mit "grey speck" bezeichnet, während sie in Deutschland unter Dörrfleckenkrankheit weithin bekannt sind. Blätter von Obstbäumen zeigen eine charakteristische Vergilbung, die bei Leguminosen bereits an den Kotyledonen deutlich zu erkennen ist. Das durch Manganmangel hervorgerufene Brechen der Keimblätter von Erbsen und Bohnen tritt in der Literatur auch unter der Bezeichnung "marsh spot" auf.

Bei Manganüberschuß weisen die Blätter von Cruziferen, Leguminosen und Solanaceen chlorotische und nekrotische Flecken auf, die sich oft auch über Blattstiele und Stengel ausdehnen (NICHOLAS 1960).

Besonders empfindlich auf Manganüberschuß reagieren Gurken, Tomaten, Salat und Bohnen, während Getreide und auch Gras (Raygras) eine höhere Manganverträglichkeit erkennen lassen (STENUIT und PIOT 1960).

Zink:

auf
Obwohl bereits in älteren Arbeiten die stimulierende Wirkung des Zinks auf das Wachstum verschiedener Organismen hingewiesen wurde, war es MAZE (1914), der wahrscheinlich den ersten eindeutigen Beweis lieferte, daß dieses Element als unentbehrlicher Pflanzennährstoff anzusehen ist. SOMMER (1928) und SOMMER und LIPPANK (1929) erkannten ebenfalls schon sehr frühzeitig die Nährstoffwirkung des Zinks.

Die Aufgabe des Zinks im Stoffwechsel der Pflanze ist allerdings auch bis heute noch nicht bis ins einzelne geklärt. Es spielt offenbar bei vielen biologischen Oxydations- und Reduktionsprozessen eine bedeutende Rolle.

Zink begünstigt nach NICHOLAS und GOODMAN (1958) die Oxydation der universellen wasserstoffüberträger $Tl-N$ und $Dl-N$. Ausserdem tritt es als spezifischer Aktivator verschiedener Dehydrasen, wie z.B. der Alkohol-, Glutaminsäure- und Milchsäuredehydrasen auf (NASON et al. 1953, NASON 1958, HOCH und VALLEE 1958).

Über den Einfluß des Zinks auf die Karbo-anhydrase berichten u.a. DAY und FRANKLIN (1946), BRADFIELD (1947) und WOOD und SIBLY (1952). Bei Zinkmangel soll auch die Aktivität der Phosphatase (SCHARRER 1955) und Aldolase (GUINLAN-WATSON 1951) herabgesetzt sein. SKOOG (1940) fand, daß bei Zinkmangel der Auxingehalt in Tomaten stark herabgesetzt war. Bei ausreichender Zinkverfügbarkeit stieg der Tryptophangehalt in den Pflanzen an (BERGH 1952 und HÜFNER 1957). Die Abnahme des Auxins in Zinkmangel-Pflanzen war gleichzeitig von einer Erniedrigung des Tryptophangehaltes begleitet (TSUI 1948). MENGEL (1961) vermutet - da man das Tryptophan als eine Vorstufe der Indoleessigsäure ansieht -, daß das Zink auch einen Einfluß auf die Wuchsstoffbildung ausübt. Zinkmangel ist häufig mit einem Zwergwachstum der Pflanzen verbunden.

THOMSON und WEIER (1962) fanden, daß die Plastiden in Zinkmangel-Pflanzen eine große Menge Stroma enthielten, während die Grana stark reduziert und ungeordnet war; gleichzeitig traten größere Vakuolen auf. SUIKOVSKY (1963) beobachtete

einen Anstieg des Chlorophylls in jungen Mais, Hirse und Gerstenblättern durch eine zusätzliche Zinkdüngung.

Ein eindeutiger Beweis, daß Zink an der Photosynthese direkt beteiligt ist, konnte noch nicht erbracht werden, wenn auch sein günstiger Einfluß auf diesen Prozeß wiederholt festgestellt wurde (REED 1938, 1939, STEGMANN 1940, BROWN und HILSON 1952, VIETS et al. 1954, PEIVE und RINKE 1957).

In Untersuchungen von SADAFHAL und DAO (1961) rief Zink eine Zunahme des Rohproteingehaltes in Weizen hervor. Zu ähnlichen Ergebnissen gelangten SCHKOLNIK und DAVYDOVA (1965) bei Tomaten. Nach MENGEL (1965) scheint Zink für den Stickstoffstoffwechsel von Bedeutung zu sein.

Die Beweglichkeit und die Wiederverfügbarkeit des Zinks sind durch seine Bindungen an organische Komplexe in der Pflanze ziemlich gering (PARIBOK und KUZNECOVA 1964). Der Zinktransport kann jedoch sowohl in basipetaler als auch in akropetaler Richtung erfolgen (RINNE und LANGSTON 1960).

RICEMAN und JONES (1958 a,b,c, 1960) studierten die Zinkverteilung in Klee (*Trifolium subterraneum* L.) und stellten fest, daß Zink wie auch die anderen Spurenelemente insbesondere in jungen Pflanzenorganen anzutreffen ist. Während des Streckungs- und Differenzierungswachstums nimmt der Zinkgehalt wieder ab. Stärkere Zinkanreicherungen fanden beide Forscher in den Wurzeln, in der Hauptachse und in den jüngsten Blättern normal ernährter Pflanzen. Ausgewachsene Blätter wiesen nur einen geringen Zinkgehalt auf. PARIBOK und KUZNECOVA (1964) bestätigten diese Untersuchungsergebnisse bei Tomaten. Jedoch führte Zinkmangel in den Pflanzen zu einer Veränderung in der Zinkverteilung.

Mangel an diesem essentiellen Element muß u.a. auch zu erheblichen Wachstumsschäden und damit zwangsläufig zu mehr oder weniger starken Ertragsausfällen führen. Nicht nur das vegetative, sondern auch das generative Wachstum wird davon betroffen.

so rief Zinkmangel eine bedeutende Hemmung des wurzelwachstums bei Reis hervor (KAKIM und VLAKIS 1962).

eine Behandlung ungekeimter Kartoffelknollen mit einer Zinklösung erhöhte die Anzahl der sich entwickelnden Triebe und steigerte den Kartoffelertrag (BALEKJEE 1964).

Über den günstigen Einfluß von Zink- und anderen Spurenelementlösungen auf die Keimkraft der Samen verschiedener landwirtschaftlicher Kulturpflanzen (Hafer, Weizen, Erbsen, Kohl, Tomaten) berichtet u.a. KRAUJA (1958). Ertragserhöhende Wirkung durch Zink ergaben sich auch in Versuchen von JUDY et al. (1964) bei Bohnen, ROSCOE jun., E. et al. (1964) bei Bohnen und Mais, PARIBOK und KUZNECOVA (1964) bei Tomaten und BOAWN und LEGGETT (1963) bei Kartoffeln.

Die landwirtschaftlichen Nutzpflanzen stellen unterschiedliche Anforderungen an die Zinkversorgung. Nach VIETS et al. (1954) nehmen sie dabei nachstehende Reihenfolge ein: Pflanzen mit geringen Zinkansprüchen sind Hafer, Weizen, Gerste, Roggen; mittlere Zinkmengen benötigen Kartoffeln, Tomaten, Zuckerrüben, Luzerne, Rotklee; einen hohen Zinkbedarf haben Mais, Hopfen, Flachs und Phaseolus-Bohnen. Pflanzen, die bei hoher Lichtintensität aufwachsen, benötigen mehr Zink als Schattenpflanzen (SCHARKER 1957).

Zinkmangelsymptome sind kümmerpflanzen, verkürzte Triebe, Halme und Internodien (Wachstumshemmungen), stark reduzierte Blätter mit welligen Rändern (mottled leaf).

Chlorophylldefekte - mosaikartig angeordnete gelbe Flecken in den Interkostalfeldern, die häufig zusammen mit welligem Blattrand auftreten. - Obstbäume (Citrus, Apfel und Birne) bilden bei unzureichender Zinkversorgung lanzettenförmige Blätter (little leaf) oft in rosettenartiger Anordnung (rosette, rosetting effects). - Bei Zinküberschuß kommt es zu chlorotischen und nekrotischen Erscheinungen (NICHOLAS 1956, WALLACE, T. 1961, HEWITT 1963).

C. DIE AUFNAHME DER NÄHRSTOFFE UND IHRE GEGENSEITIGE BEEINFLUSSUNG IN DER PFLANZE

I. DIE NÄHRSTOFFAUFNAHME

Die Aufnahme der Nährstoffe durch die Pflanze und die dabei auftretenden Wechselwirkungen sind wiederholt Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher Arbeiten gewesen. Trotz der sehr umfangreichen Forschung auf diesem Gebiet konnte bis heute noch keine letzte Klarheit über diese sehr verwickelten Vorgänge gewonnen werden.

Bereits vor einigen Jahrzehnten befaßten sich u.a. LUNDEGÄRDH (1932,1945), LUNDEGÄRDH und BURSTRÖM (1933,1935), STEWARD (1933), HOAGLAND und BROYER (1936,1942), HOAGLAND (1948) mit diesem Phaenomen und kamen zu dem Schluß, daß die Nährstoffaufnahme der Pflanze eng mit den in ihr ablaufenden Stoffwechselvorgängen in Verbindung steht.

Auch in den vergangenen Jahren erreichte dieses interessante und komplexe Thema wieder große Aktualität und führte zu kaum zu überschauenden Untersuchungsergebnissen.

Im Rahmen der vorliegenden Dissertation ist es unmöglich, auf Einzelheiten näher einzugehen. Es sei hier nur auf einige neuere, zusammenfassende Veröffentlichungen hingewiesen, und zwar von LUNDEGÄRDH (1955), ROBERTSON (1960), EPSTEIN (1961), RUSSELL (1961), KURBANOV (1961), BUTCLIFFE (1962), HEWITT (1963) und MENGEL und MARACHNER (1962,1963).

Im Laufe der Jahre führte vertiefte Forschung zu der Erkenntnis, daß die in den Pflanzen anzutreffenden chemischen Elemente weniger durch rein physikalische Gesetzmäßigkeiten, wie es Diffusion und Transport mit dem Wasserstrom darstellen, in die einzelnen pflanzlichen Gewebe gelangen (passive Aufnahme), sondern vielmehr die in den Pflanzenzellen ablaufenden physiologischen Prozesse für deren Aufnahme und Transport verantwortlich gemacht werden müssen (aktive Aufnahme).

Nach EPSTEIN (1961) läßt sich die Ionenaufnahme letztlich auf drei verschiedene Vorgänge zurückführen, und zwar auf:

1. Diffusion (die Ionen können allein mit destilliertem Wasser erfaßt werden);
2. Lin- bzw. Austauschvorgänge bei Ionen gleicher Größe und
3. Aktive Aufnahme, wobei die aufgenommenen Ionen innerhalb kurzer Zeit weder durch Diffusion noch durch Ionenaustausch wieder herausgelöst werden können.

Wesentliche Merkmale einer aktiven Ionenaufnahme, die in zahlreichen Untersuchungen wiederholt bestätigt wurden, sind: Stoffwechselabhängigkeit - Transport der Ionen entgegen einem Konzentrationsgefälle - Selektivität (MENGEL und MARSHNER 1963).

Während es keine Zweifel an diesen Aufnahmevorgängen, nämlich Diffusion - Ionenaustausch und aktiver Transport mehr gibt, bereitet jedoch die gegenseitige Abgrenzung dieser drei Komponenten innerhalb eines gegebenen Gewebes erhebliche Schwierigkeiten. Diese Unterscheidungen haben eigentlich nur eine Bedeutung für die experimentellen Untersuchungen, um die dabei auftretenden Reaktionen zu erkennen und zu messen. Oft erhält man trotzdem keine eindeutigen Ergebnisse. Ionen sind eben nicht absolut an einen dieser Aufnahmevorgänge gebunden. Es stellt sich relativ schnell ein Gleichgewicht zwischen den einzelnen Aufnahmemöglichkeiten ein, wenn es auch bei den aktiv aufgenommenen Ionen viel langsamer, jedoch meßbar erfolgt (EPSTEIN 1961).

Obwohl es in den vergangenen Jahren gelang, die Zusammenhänge zwischen Stoffwechsel und Ionenaufnahme näher zu beleuchten, gibt es auch heute noch keine experimentell untermauerte Theorie, die der aktiven Ionenaufnahme in allen Einzelheiten gerecht wird.

Die in der Literatur immer wieder angeführten klassischen Arbeiten von HOAGLAND und DAVIS (1929) mit *Nitella* und *Valonia* und die dabei erhaltenen Ergebnisse, nämlich, daß die Ionenkonzentration im Zellsaft der Pflanze erheblich höher sein kann als im betreffenden Nährmedium, wurden in

Prinzip wiederholt bestätigt (HOAGLAND und BROYER 1942, MC DONALD und Mit. 1960, EPSTEIN 1961). Diese Tatsache läßt auf das Vorhandensein einer Zellmembran schließen, die einem Wiederaustritt der einzelnen Ionen entgegenwirkt. Diese These wird im allgemeinen von vielen Forschern anerkannt und unterstützt. Man nimmt heute an, daß das Cytoplasma bzw. der Tonoplast diese Ionenschranke darstellt. Unklarheiten bestehen aber noch über den Transport eines Ions durch diese Membran. Die aktiven Aufnahme- und Transportvorgänge sind anerkannterweise energiebedürftig und daher sehr eng mit dem Stoffwechsel verbunden. Während nach der Theorie von LUNDEGÅRDH (1945) nur für die Anionenaufnahme Energie benötigt wird, vertritt man heute die Ansicht, daß diese Voraussetzung auch für den aktiven Kationentransport zutrifft (MENGEL 1961).

Es wird vermutet, daß sich im Cytoplasma, dem Ort unzähliger Stoffwechselprozesse, u.a. auch "Träger"-Substanzen befinden, die eine hohe Spezifität für die einzelnen Ionen aufweisen, und für die Ionenaufnahme im eigentlichen Sinn und die hierbei auftretenden Transportvorgänge verantwortlich gemacht werden. Bei der Aufnahme bildet sich ein Träger-Ionen-Komplex, der wie der Träger (carrier) allein die Ionenschranke durchdringen kann, während das Ion selbst diese Fähigkeit nicht besitzt. Nach erfolgtem Transport spaltet sich der Träger-Ionen-Komplex und das Ion wird an das Innenmedium abgegeben. Diese Hypothese wurde bereits in den vergangenen Jahren u.a. von EPSTEIN (1956) und LATIES (1959) diskutiert. Obgleich diese sogenannte Trägertheorie in ihren Einzelheiten noch nicht völlig geklärt ist, und die Meinungen darüber noch auseinandergehen, wird sie im Prinzip jedoch allgemein akzeptiert. Da die Zellpermeabilität und Enzymaktivität sowie die Respirations- und Wachstumsraten durch die Ionenzusammensetzung des umgebenden Nährmediums mehr oder weniger stark beeinflusst werden, muß eine Veränderung dieser wichtigen pflanzenphysiologischen Faktoren zu einer Verschiebung bei der Ionen-

aufnahme führen (LESTER 1961). So konnte u.a. mehrfach festgestellt werden, daß Kalzium- und Wasserstoffionen die Permeabilität der Zellmembran beeinflussen und dadurch eine Wirkung auf die Ionenaufgabe bzw. -aufnahme ausüben (VIETS 1944, OVERSREET und Mit. 1952, MARSHNER 1961, MENDEL 1962, MARSHNER und MENDEL 1966).

II. DIE GEGENSEITIGE BEEINFLUSSUNG DER NÄHRSTOFFE BEI DER AUFNAHME DURCH DIE PFLANZE

Anhand der überaus zahlreichen Untersuchungsergebnisse muß bei der Trägertheorie angenommen werden, daß die sogenannten Ionen-Träger (carrier) sehr wahrscheinlich als organische Verbindungen in mannigfaltigen Formen auftreten und zum Teil spezifische Aufgaben zu erfüllen haben. Charakteristisch für diese Träger-Substanzen ist die unterschiedliche Affinität vorhandener Bindungsstellen (carrier sites) zu einzelnen Ionen oder Ionengruppen.

Diese Eigenschaft ist von besonderer Bedeutung. Oft kann festgestellt werden, daß die Aufnahme eines gegebenen Ions (Substrat-Ion) ganz oder fast unbeeinflusst durch die Zugabe eines weiteren Ions bleibt, obgleich dieses Ion ebenfalls aufgenommen wird. Es kann daraus gefolgert werden, daß die Absorption des zweiten Ions über eine Bindungsstelle erfolgt, die nicht identisch mit derjenigen des ersten Ions ist. Bis heute ist noch nicht einwandfrei erwiesen, ob bei der Aufnahme verschiedener Kationen, z.B. der Alkali- und Erdalkalitionen nur ein einziges Trägersystem mit unterschiedlichen Affinitäten zur Wirkung kommt (SUTCLIFFE 1957, CONWAY u. DUGGAN 1958) oder, ob für die einzelnen Ionen spezifische Träger verantwortlich gemacht werden müssen (EPSTEIN u. HAGEN 1952).

Offensichtlich wird aber die Spezifität dieser organischen Träger-Substanzen nach Untersuchungen von KAHN u. HANSON (1957) sowie von EPSTEIN (1960, 1962) durch Ca-Ionen erhöht.

Die Aufnahme der Nährstoffe über spezifische Träger-Bindungsstellen muß logischerweise zur gegenseitigen Beeinflussung chemisch eng verwandter Ionen führen.

Zu entsprechenden Ergebnissen gelangten ERSTEIN u.HAGEN (1952) bei Rubidium- und Kaliumionen, EPSTEIN (1953) bei Chlor- und Bromionen, EPSTEIN u.LEGGETT (1954) sowie MICHAEL u.SCHILLING (1960) bei Kalzium- und Strontiumionen und LEGGETT u.EPSTEIN (1956) bei Sulfat- und Selenationen.

Sie stellten fest, daß sich die Ionen dieser Ionenpaare bei ihrer Aufnahme kompetitiv hemmten. Eine derartige Konkurrenz um Träger-Bindungsstellen tritt zwischen den chemisch weniger eng verwandten Ionen nicht auf.

MARSCHNER (1961) u.MENGEL (1962) folgern daraus, daß die Affinität eines Ions zur Träger-Bindungsstelle primär nicht durch seine lyotrope Eigenschaft bestimmt wird und somit nicht auf rein polare Bindungskräfte zurückzuführen ist. Sie sind der Ansicht, daß das Ion aufgrund seiner räumlichen Anordnung und seiner Elektronenkonfiguration "irgendwie in die Bindungsstelle passen muß" und mit dem Träger eine Bindung höherer Ordnung (Komplexbindung) eingeht.

Bei derartigen Aufnahmestudien handelt es sich meistens um Kurzzeitversuche mit überwiegend abgeschnittenen Pflanzenwurzeln und Pflanzengeweben, und die dabei gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse lassen sich auf intakte komplette Pflanzen nur begrenzt übertragen.

Äußere und besonders innere Faktoren sind oft schwer kontrollierbar und die durch die einzelnen Nährstoffe hervorgerufenen stoffwechselphysiologischen Veränderungen und die damit verbundenen Aufnahmevorgänge innerhalb der Pflanzen sehr verwickelt und kaum durchschaubar.

Nach COLLANDER (1941) variiert die Ionenaffinität auch innerhalb einzelner Pflanzenarten. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen unter anderem auch ARNON (1958) u.NEALLES (1960) bei der Untersuchung des Aufnahmevermögens und der Ansprüche

der Pflanzen gegenüber Bor und Zink.

Die unterschiedliche Nährstoffaufnahme ist aber nicht nur zwischen den einzelnen Pflanzenarten, sondern auch innerhalb verschiedener Sorten gleicher Pflanzenarten zu beobachten (WEISS 1943, LÖHNIS 1951, FOY u. BARBER 1958, KELLY u. GABELMAN 1960, ERSTEIN u. JEFFERIES 1964).

WALLACE, JEFFERIES u. HALE (1962) schlossen aus ihren Versuchsergebnissen, daß wahrscheinlich die Absonderung gewisser Wurzelsekrete für die unterschiedliche Nährstoffausnutzung verantwortlich zu machen ist.

In Versuchen mit gesteigerten Nährstoffgaben kommt es oft zu Verschiebungen innerhalb der mineralischen Zusammensetzung der Pflanzen, die aber in einem gewissen Bereich - besonders bei vergleichbarem Ertragsniveau unter vergleichbaren Bedingungen - minimal sind. Bei ausgeprägten Wachstumsstörungen durch starken Mangel oder Überschuß eines oder auch mehrerer Nährstoffe treten jedoch meistens erhebliche Veränderungen im Mineralstoffhaushalt der Pflanzen auf.

Über die Beeinflussung der Nährstoffgehalte soll im folgenden Abschnitt unter Berücksichtigung der in dieser vorliegenden Arbeit untersuchten Elemente ein Literaturüberblick gegeben werden.

Die zwischen den einzelnen Nährstoffen gefundenen gegenseitigen fördernden bzw. hemmenden Beeinflussungen sind schon seit längerer Zeit bekannt und werden allgemein als "Konkurrenz" bezeichnet. Auch in den vergangenen Jahren konnten diese Erscheinungen bei der Nährstoffaufnahme wiederholt festgestellt werden.

1. Beziehungen zwischen Makronährstoffen unter besonderer
Berücksichtigung des Stickstoffs

Nach CAIN (1953) und WEEKS (1958) erhöhte Stickstoff den Kalzium- und Magnesiumgehalt und erniedrigte den Phosphor- und Kaliumgehalt in den Pflanzen. Über die durch gesteigerte Stickstoffgaben hervorgerufene Verminderung der Phosphorkonzentration wurde wiederholt berichtet (SMITH et al. 1954, PREVOT u. OLLAGNIER 1957, EMMERT 1961). Auch MC LEAN (1957) bestätigte diesen Stickstoffeinfluß bei verschiedenen Pflanzenarten.

In Wasserkulturversuchen von BROESHART u. SCHOUWENBURG (1961) mit Hafer reduzierte Stickstoffmangel den Kalium-, Natrium-, Kalzium- und Magnesiumgehalt, während die Phosphorkonzentration in den Pflanzen anstieg. Das N/t-Verhältnis schwankte unter diesen Bedingungen zwischen 1,5 und 3,0. Bei normaler Stickstoffernährung lag dieser Wert etwa bei 6,0.

Einen Anstieg des Phosphorgehaltes bei Stickstoffmangel und einen Abfall bei Stickstoffüberschuß fanden auch BESSE u. GOETZ (1963) bei Wein (*Vitis vinifera*). Die gleichen Beziehungen, jedoch in umgekehrtem Sinne, konnten sie für Magnesium und Kalium bzw. für Kalium und Kalzium feststellen. THOMPSON (1962) fand ebenfalls bei gesteigerten Stickstoffgaben eine Zunahme des Magnesium- und Kalziumgehalts und eine Abnahme des Phosphorgehalts in Mais. In Versuchen von UDOVENKO, IVANOV, LOZHKINA et al. (1964) mit Mais, Pferdebohnen und Lupinen wurde mit gesteigerten Stickstoffgaben die Kaliumaufnahme herabgesetzt. Harnstoff erhöhte im Weizen den Phosphor- und Kalziumgehalt (DEV 1964). Über eine durch Stickstoffsteigerung geförderte Kalzium- und eine gleichzeitig verminderte Kaliumaufnahme bei Erdbeeren berichtete BÜNEMANN (1962). Versuche von WIESEMÜLLER (1963) mit Wiesenschwingel und Hafer ergaben unter anderem eine Erhöhung des Magnesium- und Kalziumgehalts durch eine zusätzliche Stickstoffdüngung. Rottannensämlinge reagierten auf Stickstoffgaben im allgemeinen mit einer Erniedrigung des Phosphor-, Kalium- und Magnesiumgehalts und einer Er-

höhung des Kalziumgehalts. Unter den gleichen Bedingungen stieg in den Wurzeln der Kaliumgehalt an, während der Kalziumgehalt sank (HOFFMANN 1964).

Bei Aufnahmestudien riefen gesteigerte Stickstoffgaben in Wasserkulturversuchen mit Tomaten unter Konstanzhaltung aller übrigen Nährstoffe eine Abnahme von Kalium, Phosphor, Kalzium und Magnesium in Sproß und Wurzeln hervor (STEINECK 1964).

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch HOFFMANN u. AIGNER (1965). In fünfjährigen Stickstoffversuchen erniedrigte Stickstoff in den meisten Fällen den Gehalt der konstant gehaltenen Nährstoffe in Kartoffeln, Ackerbohnen, Körnermais und Getreide. Die Stickstoffsteigerung bewirkte eine Verengung des Nährstoffverhältnisses bei Hackfrüchten, Mais und Raps, während bei Getreide dieser Effekt nicht eintrat.

2. Wechselwirkungen zwischen Mikro- und Makronährstoffen bei der Aufnahme

Seit langem ist bekannt, daß Mangel oder überschuß an Mikronährstoffen im Endeffekt ähnliche Folgen hervorrufen können wie fehlerhafte Makronährstoffernährung, nämlich mehr oder weniger stark ausgeprägte Wachstumsdepressionen, die in extremen Fällen sogar bis zum Absterben der Pflanzen führen können.

Untersuchungen darüber, ob und in welchem Umfang die Mikronährstoffe die Absorption bzw. die Assimilation der Makronährstoffe beeinflussen, liegen in der Literatur in nur relativ geringer Zahl vor, und dann handelt es sich meistens um Untersuchungen über Einflüsse der Makronährstoffe auf die Mikronährstoffaufnahme, die keinesfalls immer klar sind.

BOR

BRENCHLEY u. WARINGTON (1927) gehören zu denjenigen Forschern, die als erste eine funktionelle Beziehung zwischen Bor und Kalzium in den Pflanzen vermuteten. Sie stellten fest, daß

selbst optimale Kalziummengen nicht von den Wurzeln ausgenutzt werden konnten, wenn Bor im Substrat fehlte.

Ebenso war bei Bormangel die Kalziumaufnahme in den Speicherorganen von Kartoffeln und Kohlrüben herabgesetzt. (HARRIS 1943).

SWANBACK (1939) studierte den Einfluß des Bors und Mangans auf die Kalium-, Kalzium- und Magnesiumaufnahme in Tabakpflanzen. Bor förderte auch in diesen Untersuchungen sowohl die Kalziumaufnahme als auch die Verwertung des Kalziumions. In Versuchen von SHIVE (1939) mit Sojabohnen und BRENNAN u. SHIVE (1948) mit Tomaten zeigte Bor keinen Effekt auf die Kalziumaufnahme. Andererseits schien es, daß Kalzium in den Pflanzenzellen z.B. von Sojabohnen und Mais löslicher und beweglicher war (MARSH 1942, SMITH 1944, HERNANDEZ-MEDINA u. SHIVE 1946).

Das Verhältnis von löslichem Kalzium zu Gesamt-Kalzium erreichte sowohl in Monokotylen als auch in Dikotylen Pflanzen in Gegenwart von Bor einen weitaus höheren Wert als unter Bormangel. Aus dem höheren löslich-Ca/Gesamt-Ca-Quotienten in Monokotyledonen gegenüber Dikotyledonen folgte MARSH (1942), daß einkeimblättrige Pflanzen weniger Bor zu einem normalen Wachstum benötigen als zweikeimblättrige.

MARSH u. SHIVE (1941) fanden, daß das metabolisch effektive Kalzium, das im pflanzlichen Gewebe in löslicher und verfügbarer Form vorlag, in direkter Beziehung zu der im gleichen Gewebe verfügbaren Bormenge stand. Auch REEVE u. SHIVE (1944) bestätigten diese Vorgänge im Stoffwechsel und stellten außerdem fest, daß mit Erhöhung des Kaliumgehalts im Nährmedium die Boraufnahme und -anreicherung in der Pflanze anstieg und Bormangel- und Borüberschußerscheinungen verstärkte. Dagegen fanden sie wie auch BRENNAN u. SHIVE (1948), daß gesteigerte Kalziumgaben wohl wie Kalium den Bormangel verstärkten, jedoch im Gegensatz zu Kalium die toxischen Wirkungen hoher Borgaben abschwächten. Den günstigen Einfluß des Kalziums bei hohen Borgaben bestätigten MC ILKATH u. DE BRUYN (1956). Höhere Kalziumgaben erniedrigten in Hirse (siberian millet) nicht nur den Gesamtbor-Gehalt, sondern

auch die Konzentration des löslichen Bors. Dagegen schloß LOPEZ (1958) aus seinen Versuchen mit Ananas, daß der Gehalt an Gesamtbor nicht von der Höhe der Kalziummenge abhängig ist. Ebenso folgerten MARSH u. SHIVE (1941), REEVE u. SHIVE (1944) sowie BRENNAN u. SHIVE (1948) aus ihren Untersuchungen, daß der Kalziumgehalt der Pflanzen größtenteils von der Bormenge unabhängig war und primär von der Kalziumkonzentration im Substrat bestimmt wurde.

Auch in neuerer Zeit wurde der Einfluß des Bors auf den Mineralstoffhaushalt weiter erforscht.

KELLY u. GABELMAN (1960) fanden bei rote Beete (*Beta vulgaris esculenta*) eine hochsignifikante Korrelation zwischen hohen Kalziumgaben und Bormangel. Mineralstoffanalysen von Sellerieknollen ergaben bei krankem, extrem braunfleckigem Gewebe ein Bor-Kalzium-Verhältnis von 1 : 100 bis 1 : 340 und bei gesundem Gewebe ein Bor-Kalzium-Verhältnis von 1 : 15 bis 1 : 100 (KLOKE u. SCHMIDT 1962).

Untersuchungen von PARKASH u. SUBBLAK (1965) mit ⁴⁵Kalzium zeigten, daß bei Bormangel die Kalziumaufnahme in Zitrusssämlingen gehemmt war. Borversuche mit Lein ergaben eine durch Bor geförderte Aufnahme von Magnesium und Kalium, wodurch das Ca/Mg- und das Ca/K-Verhältnis erniedrigt wurde (SCHEFFER u. KLOKE 1956).

Bor erhöhte den Gehalt von Stickstoff, Phosphor, Kalium und Kalzium in Senf, wobei der Phosphorgehalt mit den gesteigerten Borgaben zunahm. Die Anreicherung von Stickstoff und Kalzium erfolgte vor allem zu wachstumsbeginn, während der Kaliumgehalt mit dem Alter der Pflanzen zunahm (KARIM u. DERAZ 1961). Ebenso fand auch KRETSCHMER (1964) bei Senf (*Sinapis alba* L.), daß in der Bormangelvariante der Gehalt von Phosphor, Kupfer und Kalzium geringfügig, von Kalium stärker und besonders deutlich der Borgehalt gegenüber allen übrigen Varianten erniedrigt war. Dagegen führte Bormangel zu einem höheren Stickstoff-, Phosphor- und Magnesiumgehalt in Wein (BESSE u. GOETZ 1963).

MANGAN

Die wechselseitigen Beeinflussungen zwischen Magnesium und Mangan bei der Aufnahme durch die Pflanze sind immer wieder bestätigt worden.

So stellte PARRBERRY (1943) fest, daß bei Magnesiummangel unter anderem der Mangangehalt in den Pflanzen beträchtlich höher lag als bei ausreichender Magnesiumversorgung. Auch VOSE u. GRIFFITHS (1961) vermuteten einen Magnesium-Mangan-Antagonismus. Die Magnesiumkonzentration war in den Haferwurzeln, die einen höheren Mangangehalt aufwiesen, stets erniedrigt. SWANBACK (1939) kam zu dem Ergebnis, daß Mangan unter bestimmten Bedingungen einen regulierenden Einfluß auf die Kalziumaufnahme ausübte. HEWITT (1946) sowie TALLER u. LEACH (1957) konnten nachweisen, daß Kalzium die Manganaufnahme beeinflusst. Ebenso fanden WILLIAMS u. VLAMIS (1957), daß Kalzium den Mangangehalt in alten Blättern um 45% reduzierte.

LÖHNIS (1960) bestätigte den Einfluß des Magnesiums und Kalziums auf die Manganaufnahme. Magnesium erniedrigte den Mangangehalt besonders in Bohnen und Kartoffeln, weniger in Raps und am geringsten in Luzerne. Versuche mit Kalzium anstelle von Magnesium ergaben für die Pflanzenarten eine umgekehrte Reihenfolge in der Beeinflussung des Mangangehaltes. SADAPHAL u. DAS (1961) stellten einen durch Mangan herbeigeführten Stickstoffanstieg in Weizenkörnern fest. Ferner berichteten VOSE u. JONES (1963) über Kalzium- und Mangandüngungsversuche: Mit steigenden Mangankonzentrationen im Substrat nahmen die Erntegewichte von drei Weißkleearten deutlich ab. Eine höhere Kalziumgabe schwächte die durch hohe Mangandüngung hervorgerufene toxischen Symptome stark ab, so daß die Pflanzen ihren Höchstertag bei den hohen Mangankonzentrationen erreichten.

Den Einfluß gesteigerter Mangangaben auf den Mineralstoffhaushalt der Pflanzen in Wasser- und Sandkulturen studierten REES u. SIDRAK (1961) und stellten fest, daß in Atriplex mit Erhöhung der Mangankonzentration die Kalzium- und Magnesiumgehalte anstiegen, während unter den gleichen Bedingungen in Spinat und Gerste nur Magnesium im Gehalt zunahm,

kalzium jedoch in der Aufnahme gehemmt war. In Sandkulturversuchen von LEHRMAN (1964) mit Spinat riefen Magnesiumsteigerungen eine Abnahme des Mangangehaltes in der Pflanze hervor, wogegen die Erhöhung der Mangangabe keinen nennenswerten Einfluß auf die Magnesiumaufnahme zeigte. Chrysanthemen reagierten auf ansteigende Mangankonzentrationen unter anderem mit verstärkter Aufnahme des Phosphors (TAYLOR u. JOINER 1964). Eine Förderung der Kalium-, Kalzium- und Magnesiumaufnahme durch Mangan stellten KARIM u. DERAZ (1961) bei Senf fest. Dagegen fanden STENUIT u. FIOT (1960) in Versuchen mit Hafer eine verminderte Aufnahme von Kalzium, Phosphor sowie Natrium und einen erhöhten Kaliumgehalt in der Variante, die keine zusätzliche Mangandüngung erhielt; Magnesium blieb im großen und ganzen unbeeinflußt. Über die gegenseitigen Beziehungen zwischen Mangan und Eisen wurde bereits an anderer Stelle berichtet (S.15).

KUPFER

Wie Bor und Mangan scheinen auch Kupfer und Zink einen Einfluß auf den Mineralstoffhaushalt der Pflanzen auszuüben. Neben einer signifikanten Erhöhung des Kornertrages riefen Kupferspritzungen gleichzeitig einen beträchtlichen Anstieg des Phosphor-, Kalium- und Kupfergehalts in Weizen hervor, während die Stickstoffaufnahme offenbar unbeeinflußt blieb (DAKHORE, NAIK u. DAS 1963).

In Versuchen von KARIM u. DERAZ (1961) mit Senf schien Kupfer die Aufnahme von Stickstoff und Kalium zu begünstigen. Weitere Beziehungen zwischen Kupfer und Stickstoff wurden bereits im Kapitel über die Wirkung des Stickstoffs auf die Aufnahme der übrigen Nährstoffe erwähnt.

BROWN u. FOY (1964) stellten in Kupfermangelblättern von Gerste einen niedrigeren Kalzium- und Eisengehalt und einen höheren Phosphorgehalt als in gesunden Blättern fest und folgerten aus diesem Befund, daß die Verteilung der Nährstoffe in der Pflanze eng mit den kupferabhängigen oxydativen Stoffwechselvorgängen verbunden zu sein scheint. Über eine reduzierte ⁴⁵Ca-Aufnahme bei kupfermangel berichteten auch PARKASH u. SUBBLAK (1965). Als Versuchspflanzen dienten Zitrus-

sämlinge.

Wechselbeziehungen zwischen Phosphor und den Mikronährstoffen konnten immer wieder registriert werden. In Versuchen von GREENWOOD u. HALLS WORTH (1960) mit *Trifolium subterraneum* reagierten die Pflanzen auf eine höhere Kupfergabe in der niedrigeren Phosphordüngungsstufe mit einem stärkeren Ertragsanstieg als in der zweiten P-Düngungsvariante, deren Phosphorkonzentration das fünffache der ersten betrug. Die höhere Kupfergabe bewirkte gleichzeitig eine stärkere Stickstoff-Fixierung bei geeigneter Kalziumdüngung und zeigte selbst bei niedriger Kalzium- und Phosphorgabe noch einen deutlichen Effekt. Eine Erhöhung der Phosphorgabe förderte die Kupferaufnahme bei niedriger Kupfer- und Kalziumdüngung.

Kupfer scheint ebenfalls das P/Fe -Verhältnis in den Pflanzen zu beeinflussen. In Versuchen von BROWN u. SPECKT (1955) mit Sojabohnen und Reis verursachte stärkere Phosphordüngung keinen deutlichen Effekt bei der Aufnahme und Ausnutzung von Eisen, wenn nicht gleichzeitig hohe Kupfermengen verabreicht wurden. Bei einer anderen Sojabohnenvarietät wirkten sich gesteigerte Phosphor- und Kupfergaben nicht auf die Eisenaufnahme aus.

Toxische Kupfergaben senkten häufig die Stickstoff-, Kalzium- und Magnesiumkonzentration in den Pflanzen, wie Versuche von DROUINEAU u. MAZOYER (1962) mit Lupinen, Mais, Bohnen und Tomaten zeigten.

ZINK

BINGHAM u. MARTIN (1956) fanden eine reduzierte Kupfer- und Zinkaufnahme in Zitruspflanzen bei sehr hoher Phosphordüngung, während Mangan und Eisen nicht davon betroffen wurden. Zu ähnlichen Ergebnissen gelangte auch LONERAGAN (1951) mit Flachs. Hohe Phosphorgaben führten zu einem Zinkmangel in den Pflanzen, wobei gleichzeitig der Phosphorgehalt anstieg. Versuche von WOLTZ, TOTH u. BEAR (1953) mit ^{65}Zn ergaben bei einer Phosphordüngung von 800 lb/acre P_2O_5 als KH_2PO_4 einen reduzierten Zinkgehalt in den oberen Pflanzenteilen von

Sojabohnen. über eine Erniedrigung des Zinkgehalts in Ackerbohnen und Mais durch Phosphorgaben von 437 und 655 lb/acre P_2O_5 berichteten auch ROSCOE jun., DAVIS u. THURLOW (1964). Mit steigender Phosphordüngung traten in Versuchen von JUDY et al. (1964) bei Speisebohnen Zinkmangelercheinungen auf. Dagegen führte eine Phosphordüngung, die die Phosphorkonzentration in Bohnen verdoppelte, in Versuchen von BOAWN, VIETS jun. u. CRAWFORD (1954) zu keiner Veränderung des Zinkgehalts in den Pflanzen.

Eine Wechselwirkung zwischen Phosphor und Eisen kann ebenfalls den Transport des Zinks innerhalb der Pflanze beeinflussen. BIDDULPH (1953) sowie THORNE u. WIEBE (1957) stellten bei hohen Phosphorkonzentrationen in der Nährlösung ausgefallenes Zink entlang der Blattnerven fest. Bei höherem Eisengehalt in den Pflanzen war die Zinkabscheidung in diesem Ausmaß nicht zu beobachten, was offenbar auf die Phosphatbindung (Ausfall) durch Eisenüberschuß zurückzuführen war. Bei niedrigen P-Gaben konnten die Zinkablagerung an den Blattnerven nicht festgestellt werden. Unter diesen Voraussetzungen schien das Zink gleichmäßig über das ganze Blatt verteilt zu sein. Die Wechselwirkung zwischen Phosphor und Zink, bzw. die dabei auftretende gegenseitige schädigende Beeinflussung in der Ausnutzung und Verwertbarkeit dieser Nährstoffe durch die Pflanze führt STUKENHOLTZ (1965) weniger auf eine einfache chemische Ausfällung von Zinkphosphat außerhalb der Pflanzenwurzeln zurück als vielmehr auf die Veränderungen im pflanzenphysiologischen Geschehen. REED (1946) stellte bei Tomaten, die unter Zinkmangel litten, im Vergleich zu normal ernährten Pflanzen eine höhere Konzentration anorganischen Phosphors und gleichzeitig eine höhere Phosphatase-Aktivität fest. Eine Zinkimmobilisierung trat in Wurzeln von *Trifolium subterraneum* nach OZANNE (1955) auch durch hohe Stickstoffgaben auf; zwischen Protein-Stickstoff und Zinkfestlegung bestand eine Korrelation. In Wasserkulturversuchen von ROSELL u. ULRICH (1964) erhöhten gesteigerte Zinkgaben den Ertrag von Zuckerrüben beträchtlich, wodurch die Konzentration der konstant gehaltenen Nährstoffe stark abnahm. Die Gehalte von Kalium, Kalzium,

Magnesium und Natrium schwankten jedoch in weitaus geringerem Maße als die von Mangan und Eisen.

3. Die gegenseitige Beeinflussung der Mikronährstoffe bei ihrer Aufnahme

Versuche mit Mikronährstoffen haben unter anderem ergeben, daß auch sie sich in der Aufnahme zu beeinflussen scheinen. Während die Veröffentlichungen über den Synergismus und Antagonismus zwischen den einzelnen Makronährstoffen in der Literatur einen bedeutenden Platz einnehmen, ist die Anzahl der Arbeiten, die sich mit den Wechselwirkungen der Makro- und Mikro- bzw. Mikro- und Makronährstoffen befassen, schon viel geringer. Weitaus schwieriger wird es aber noch, wenn man in der Literatur nach Angaben über die gegenseitige Beeinflussung der Mikronährstoffe sucht.

So stellten z.B. TOPP u.ROMNEY (1954) fest, daß hohe Kupfergaben auf sandigen Lehmböden eine Erhöhung der Manganaufnahme in verschiedenen Pflanzen hervorriefen. In Sandkulturversuchen von MC ILRATH, DE BRUYN u.SKOK (1960) mit *Setaria spicata* (perennierendes südafrikanisches Gras) rief eine Borkonzentration von 200 ppm eine signifikante Erhöhung des Kupfergehaltes hervor, jedoch war der Kupferentzug signifikant erniedrigt (Ertragsdepressionen); Mangan und Eisen verhielten sich ähnlich.

Kupfermangel bewirkte in wasserkulturversuchen von PARIBOK et al.(1964) mit Tomaten einen höheren Eisen- und Molybdängehalt in den Pflanzen. Nach YOUNTS (1964) schien Mangan die Kupferaufnahme bei Weizen zu begünstigen, während Zink sie etwas zu hemmen schien. Über einen Anstieg der Zink- und Eisenkonzentration in Sojabohnen bei einer durch Mangan induzierten Chlorose berichtete CHANG (1963).

PARIBOK u.KUZNECOVA (1964) fanden in Tomaten bei Zinkmangel einen wesentlich höheren Eisen-, Mangan-, Kupfer- und Molybdängehalt als bei ausreichender Zinkernährung. So sank auch bei einer verstärkten Zinkaufnahme der Kupfergehalt in Tomaten und Kohlrabi merklich ab (POSRISILOVA et al. 1964).

D. EIGENE UNTERSUCHUNGEN ZUR PROBLEMSTELLUNG

Als Beitrag zur Erforschung des Einflusses gesteigerter Bor-, Kupfer-, Mangan- und Zinkgaben auf den Ertrag und die mineralische Zusammensetzung der Pflanze und zum Betreiben vergleichender Studien innerhalb dieses für die Pflanzenernährung interessanten Themas wurden in den Jahren 1961/62 umfangreiche Versuche mit Tomaten und Mais durchgeführt.

I. Vegetationsversuche mit Tomaten (*Solanum lycopersicum*)

1. Sandkulturversuche 1961

a) Methodik und Versuchsbedingungen

Für die im folgenden Kapitel beschriebenen Sandkulturversuche wurden Hirschauer Quarzsand mit der Korngrößenzusammensetzung von 0,7 bis 1,2 mm Durchmesser verwendet.

Da die von HEWITT (1952) vorgeschlagene beschriebene Reinigung des Sandes mit Salzsäure und Oxalsäure im Autoklaven für die umfangreichen und mit einem hohen Sandbedarf verbundenen Sandkulturversuche wegen ihres beträchtlichen Arbeits- und Zeitaufwandes nicht in Frage kam, erfolgte die Vorbehandlung des Sandes in Kunststoffbehältern mit einer technischen Salzsäure der Fa. Merck, die auf eine Normalität von 2,0 verdünnt wurde. Nach einer Einwirkungsdauer der verdünnten Salzsäure von 48 Stunden bei normaler Temperatur wurde der Sand mit entmineralisiertem Wasser aus der institutseigenen Permutitanlage bis zur neutralen Reaktion sorgfältig gewaschen und anschließend getrocknet.

Von einer derartig vorgenommenen Reinigung konnte natürlich eine völlige Mikronährstofffreiheit des Sandes nicht erwartet werden. Daher wurde der Sand nach dem Trocknen auf die in Betracht kommenden Mikronährstoffe hin untersucht:

100 g des gereinigten und getrockneten Sandes wurden mit 250 ml 0,1 n HCl (p.a.) $1\frac{1}{2}$ Stunden geschüttelt und durch ein Faltenfilter filtriert.

Zur Untersuchung auf Bor bzw. Kupfer, Mangan und Zink wurden

50 ml bzw. 150 ml des Filtrates in Quarzschalen eingedampft. Die Weiterbehandlung und die Bestimmung der Mikronährstoffe erfolgten nach KÜHN und LÜTTMER (1955) bzw. nach SCHAUMLOFFEL (1960). Die Analysenergebnisse sind nachfolgend zusammengestellt.

Der Mikronährstoffgehalt in einem Salzsäureauszug (0,1 n HCl) des gereinigten Sandes:

Element	ppm	Gamma/kg	Gamma/15 kg (pro Gefäß)
B	Spuren	Spuren	Spuren
Cu	0,024	24	360
Mn	0,015	15	225
Zn	0,290	290	4350

Als Versuchsgefäße dienten Ahrgefäße, deren besonderer Vorteil in einem relativ großen Fassungsvermögen und in einer guten Wasserversorgung zu sehen ist. Das Ansetzen der Gefäße erfolgte am 19.5.1961.

Nach Abwägen des gereinigten Sandes (15 kg/Gefäß) wurden die Nährstoffe Phosphor, Kalium, Kalzium sowie Magnesium als Salze - Eisen in gelöster Form hinzugegeben, in einer Kunststoffwanne innig miteinander vermischt und in die vorbereiteten, mit passenden Kunststoffbeuteln ausgekleideten Gefäße eingefüllt. Anschließend wurden alle Gefäße mit einer Plastikfolie sorgfältig abgedeckt. Als Versuchspflanze diente die Tomate, Sorte "Bonner Beste".

Die für die Versuchsreihen benötigten Tomatenpflanzen wurden am 19.5.1961 in einem Gemisch aus Darmstädter Sandboden (1/3 neutral, 2/3 sauer), der arm an Makronährstoffen und nur mäßig mit Mikronährstoffen versorgt war, in kleinen paraffinierten Papierbechern angesät (3 Samen pro Becher). Dazu wurde der Boden mit einer geringen Menge eines feingemahlten mikronährstofffreien NPK-Volldüngers gut gemischt. Auf 10 kg Boden kamen ca. 2 g N, 3 g P₂O₅ und 2 g K₂O. Bis zum Auspflanzen

erhielt jeder Becher zweimal je 10 mg N (NH_4NO_3), 10 mg P_2O_5 und 13 mg K_2O (KH_2PO_4) in gelöster Form.

Am 15.6.1961 wurden die Tomatenpflanzen mit den paraffinierten Bechern eingeweicht und ca. 12 Stunden gewässert.

Nach anschließendem gründlichen Abspülen mit entmineralisiertem Wasser erfolgte das Einpflanzen durch "Einschlämmen" der Pflanzeln mit 100 ml Wasser in die Ahrgefäße (2 Pflanzen pro Gefäß), die am Tage zuvor zur Vervollständigung der Grunddüngung noch Stickstoff sowie die Mikronährstoffe Bor, Kupfer, Mangan, Zink und Molybdän erhalten hatten. Die Zugabe dieser Elemente erfolgte gleichzeitig mit den Nährstoffsteigerungen in 1000 ml Lösung, die gleichmäßig auf die Oberfläche der Gefäße verteilt wurde.

Die Grunddüngung pro Gefäß setzte sich wie folgt zusammen:

1,0 g N	als	NH_4NO_3	p.a.
1,2 g P_2O_5	"	$\text{CaHPO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	DAB6
1,5 g K_2O	"	KCl u. K_2SO_4	p.a. (1:1)
4,0 g CaCO_3	DAB6 u.	1,0 g MgCO_3	p.a.
20 mg Fe	als Eisenchelat (12%)	Fe-EDTA	
12 mg Mn	"	$\text{MnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	p.a.
6 mg Cu	"	$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	p.a.
6 mg Zn	"	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	p.a.
2 mg B	"	H_3BO_3	p.a.
1 mg Mo	"	$\text{NaMoO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	p.a.

Am 28.7.1961 erhielten die Gefäße nach der 1. Ernte 0,5 g N als NH_4NO_3 sowie 0,5 g K_2O und 0,4 g P_2O_5 als KH_2PO_4 in gelöster Form.

Innerhalb der einzelnen Versuche wurde jeweils der zur Steigerung gelangende Nährstoff in der Grunddüngung weggelassen. Gesteigert wurden die Nährstoffe Stickstoff, Bor, Kupfer, Mangan und Zink in 9 Stufen mit je 4 Parallelgefäßen.

Die gesteigerten Nährstoffmengen, verabreicht in den gleichen Verbindungen und Formen wie bei der oben angeführten Grunddüngung, betrugen pro Gefäß:

VR mg pro Gef	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N	0	50	100	200	400	800	1600	3200	6400
B	0	0,01	0,04	0,16	0,64	2,56	10,24	40,96	163,84
Cu	0	0,01	0,05	0,25	1,25	6,25	31,25	156,25	781,25
Mn	0	0,01	0,06	0,36	2,16	12,96	77,76	466,56	2799,36
Zn	0	0,01	0,05	0,25	1,25	6,25	31,25	156,25	781,25

Der gesamte Versuch umfaßte also $5 \times 36 = 180$ Ahr-Gefäße.

Die Wasserversorgung betrug zu Versuchsbeginn 50% der maximalen Wasserkapazität des Quarzsandes und wurde später mit zunehmendem Pflanzenwachstum bis auf etwa 80% erhöht.

Um den Nährstoffgehalt, den Nährstoffbedarf und die Nährstoffverträglichkeit in verschiedenen Entwicklungsstadien der Pflanze zu untersuchen, wurden zwei Ernten vorgenommen. Die erste Ernte bestand nur aus dem oberirdischen Sproß junger Tomatenpflanzen, die gerade zu blühen begannen und noch keine oder nur einen sehr schwachen Fruchtansatz aufwiesen.

Dagegen umfaßte die zweite Ernte sowohl Sproß als auch Früchte, die überwiegend zur Reife gelangten sowie die Pflanzenwurzeln. Nach Feststellung der einzelnen Erträge wurden Sproß und Früchte auf die Nährstoffe N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Mn und Zn hin untersucht. Die Bestimmung des Nährstoffgehalts erfolgte nach folgenden Methoden: N nach Kjeldahl - P, K, Ca und Mg nach Scharrer und Mengel (1960) - B nach Scharrer, Kühn und Lüttmer (1955) - Cu, Mn und Zn nach Schaumlöffel (1960). Literaturangabe s. Seite 242.

b) Wachstumsbeobachtungen (Sandskulturversuch mit Tomaten 1961)

Nach dem Einpflanzen der Tomaten am 16.6.1961 vergingen etwa vier Tage, bis sich die Pflanzen ihrer neuen Umgebung angepasst hatten und weiterwuchsen.

Stickstoff:

Am 22.6.1961 kann man bereits in VR.1 Stickstoffmangel erkennen, der sich in den folgenden Tagen und Wochen noch verstärkt und sich über VR.2,3,4 u.5 bis VR.6 einschließlich - wenn auch in abgeschwächter Form - fortgesetzt (von 0 bis 800 mgN/pro Gefäß). Das Wachstum der Pflanzen kommt besonders in den ersten vier VR. (0 - 200 mgN/Gefäß) nach und nach zum Stillstand. Die Gesamtpflanze ist aufzereißt (Chlorophyllmangel), die älteren Blätter sind sogar gelblich gefärbt. Das jüngste Blattgewebe zeigt dagegen, wenn auch abgeschwächt, noch eine relativ gute Chlorophyllausbildung (grüne bis hellgrüne Färbung). Neben diesen ausgeprägten Merkmalen lassen sich an den älteren und jüngeren Blättern die einzelnen Übergangsstufen deutlich erkennen.

Während die Pflanzen der VR.6 (800 mgN/Gefäß) bis zum 14.7. 1961 offensichtlich am besten gedeihen, können in den folgenden VR.7 bis 9 bei hohen bis sehr hohen Stickstoffgaben (1600 bis 6400 mgN/Gefäß) zunehmend Wachstumsdepressionen festgestellt werden, die besonders stark in VR.9 hervortreten (dunkelgrüne - grüne Marmorierung der Blätter) und schließlich zum Absterben der Pflanzen in dieser VR. führen. In der folgenden Zeit bleiben die Pflanzen der VR.6 gegenüber der VR.7 und später auch diejenigen der VR.7 gegenüber der VR.8 in der Entwicklung immer deutlicher zurück, so daß der höchstertrag am Versuchsende in der Versuchsreihe 6 erreicht wird.

Bei starkem Stickstoffmangel (VR.1) und übermäßigen - toxischen Stickstoffgaben (VR.9) kommen die Pflanzen nicht zum Blühen. Die in der Anlage ausgebildeten Blüten verkümmern und fallen ab. Mit zunehmenden Stickstoffgaben nimmt die Anzahl der Blüten und der ausgebildeten Früchte zu, die in VR.6 schließlich ihren höchsten Stand erreicht. Gleichzeitig treten in dieser Versuchsreihe bedeutende Reifeverzögerungen auf.

Bor:

Ähnlich wie beim Stickstoff werden schon nach einigen Tagen Bormangelercheinungen sichtbar. Am stärksten davon betroffen sind natürlich die Pflanzen der VR.1, die keine zusätzliche Borgabe erhielten. Die Bormangelsymptome treten mit der Zeit immer deutlicher hervor und erstrecken sich schließlich bis VR.5 (0,64 mgB/Gefäß).

Anfang bis Mitte Juli 1961 zeigen die Pflanzen der VR.6 (2,56 mgB/Gefäß) auch in diesem Versuch die beste Entwicklung. Von VR.7 an verstärken sich die durch hohe und toxische Borgaben (10,24 - 163,84 mgB/Gefäß) hervorgerufenen Wachstumsdepressionen, besonders in VR.9: U.a. neigen sich die Blätter einschließlich der Blattstiele nach unten, ältere und später auch jüngere Blätter sind eingerollt und weisen vom Blattrand her bräunliche Flecken auf, die zu Blattrandnekrosen führen.

Die schädigende Wirkung des Bors verwächst sich mit zunehmender Ertragsbildung bis zum Versuchsende hin in VR.8 und besonders in VR.7. Die Pflanzen der VR.1, VR.2, VR.3 und teilweise VR.4 beginnen zu welken (18.7.1961) und sterben schließlich ab. In zwei Gefäßen der VR.4 bilden sich an je einer Pflanze Seitentriebe aus, obgleich der Hauptsproß ebenfalls abstirbt, die bis zum Vegetationsende weiterwachsen. Der Einfluß des Bors auf die Blüten und Fruchtbildung ist von noch größerer Bedeutung als der des Stickstoffs. In VR. 1 - 4 kommt es entweder überhaupt nicht zur Blütenbildung oder die Blüten bzw. die Blütenknospen verkümmern, gehen zugrunde und fallen ab; lediglich eine Pflanze der VR.4 trägt am Versuchsende zwei Früchte.

Die Tomaten der VR.6 und VR.7 (2,56 u. 10,24 mgB/Gefäß) haben eine gute Blüten- und Fruchtentwicklung, während die Früchte der VR.5 (0,64 mgB/Gefäß) noch gewisse Bormangelercheinungen zeigen, z.B. Deformationen und Schorfbildung. Bei sehr hohen und toxischen Borgaben kommt es in der VR.8 und besonders in der VR.9 zu zunehmenden Blühverzögerungen und Störungen in der Fruchtentwicklung; Blüten fallen ab und der Fruchtansatz ist erheblich geschwächt.

Kupfer:

Im Gegensatz zu dem Stickstoff- und Borsteigerungsversuch können in den Gefäßen, die keine oder nur eine geringe zusätzliche Kupfergabe erhielten, keine äußeren Mangelercheinungen während der gesamten Vegetationszeit beobachtet werden.

Die Versuchsreihen 1 bis 6 einschließlich (0 - 6,25 mgCu/Gefäß) lassen keine deutlichen Wachstumsunterschiede erkennen.

Die Kupferkonzentration der im Versuch verwendeten Nährstoffe und des Quarzsandes scheinen für ein normales Wachstum völlig ausreichend zu sein. Bei hohen und sehr hohen Kupfergaben (31,25 - 781,25 mgCu/Gefäß) treten aber auch hier zu Beginn des Versuches mehr oder weniger stark ausgeprägte Wachstumsdepressionen auf: deutlicher Ertragsabfall von VR.7 nach VR.9 einschließlich; junge Blätter bzw. Blattspitzen junger Blätter sind stärker aufgehellt; Chlorophylldefekte in Form von gelbgrüner/dunkelgrüner, etwas später orange/grüner Marmorierung, die bis zum 18.7.1961 wieder zurückgeht und größtenteils verschwindet. Die Veränderungen dieser chlorotischen Erscheinungen sind gleichzeitig mit einer Abschwächung der Wachstumsdepressionen, besonders in VR.7 und VR.8 verbunden. Die Ertragsunterschiede gegenüber den Versuchsreihen 1 bis 6 gleichen sich in VR.7 und VR.8 bis zum Versuchsende immer mehr aus. Bei den hohen Kupfergaben kommt es ebenfalls zu Blühverzögerungen (VR.7 - VR.9) sowie zu Störungen im Fruchtansatz (VR.8 und besonders VR.9). Z.Zt. der Haupternte sind die Pflanzen der Versuchsreihe 8 und Versuchsreihe 9 noch grün, während in den Versuchsreihen 1 bis 7 der Chlorophyllabbau bereits fortgeschritten ist (Vergilbungen).

Mangan:

In den ersten drei Wochen nach Versuchsbeginn sind in dem Mangansteigerungsversuch weder Mangelsymptome noch Ertragsunterschiede in den entsprechenden Versuchsreihen (VR.1 - 3 bzw. 0 - 0,06 mgMn/Gefäß) festzustellen. Jedoch treten bereits nach kurzer Zeit (24.7.1961) die ersten Wachstumsdepressionen durch toxische Mangangaben in Versuchsreihe 9 auf (2799,36 mgMn/Gefäß). Gleichzeitig hellen sich die Blätter auf: Die Blattflä-

chen erscheinen hellgrün bis gelb, die Blattnerven dagegen noch grün; nach einigen Tagen zeigen sich braune Flecken an den älteren, teilweise aber auch schon an den jüngeren Blättern bzw. Blattspitzen. Die Pflanzen der VR.8 zeigen bald ähnliche Symptome, jedoch in stark abgeschwächter Form - Chlorophylldefekte äußern sich hier in einer gewissen Marmorierung (grün/hellgrüne Farbe der jungen Blätter). Die rostbraunen Flecken nehmen schließlich - besonders in VR.9 - an Größe und Zahl zu und sind auch deutlich über Sprossachse, Blattstiele und -nerven verteilt. Blattspitzen älterer Blätter sterben ab (Nekrose). Die durch Manganüberschuß hervorgerufenen Wachstumsstörungen und die dabei beobachteten Schädilder nehmen in ihrem Ausmaß - ähnlich wie in den vorhergehenden Versuchen - im Laufe der Vegetationszeit offensichtlich ab. Zu einer Gesundung der betreffenden Pflanzen kommt es aber nicht.

Manganmangelercheinungen treten erst in der vierten Woche nach Umpflanzen der Tomaten in die Versuchsgefäße in VR.1 auf und setzen sich später auch in VR.2 und VR.3 ($0 - 0,06 \text{ mgMn/Gefäß}$) in abgeschwächter Form fort: schwächeres Wachstum, ältere Blätter zeigen kleine braune Flecken, die sich mit der Zeit vergrößern; schwache Marmorierung der Blätter (grüne Farbtöne). Zu einem gewissen Grad ähnelten sich Manganmangel- und Manganüberschußsymptome. Der Manganmangel scheint sich sowohl auf den Sproß als auch auf den Fruchttertrag auszuwirken: geringer Fruchtansatz und Ausbildung kleinerer Früchte. VR.5 bis VR.7 ($0,36 - 77,76 \text{ mgMn/Gefäß}$) entwickelten sich am besten und lassen keine Wachstumsunterschiede erkennen.

Stärkere Blühverzögerungen und erhebliche Störungen beim Fruchtansatz treten besonders an den Pflanzen der VR.9 ($2799,36 \text{ mgMn/Gefäß}$) auf, im geringeren Ausmaß auch in VR.8 ($466,56 \text{ mgMn/Gef.}$).

Zink:

Wie beim Kupferversuch kommt es auch hier nicht zur Ausbildung von Mangelsymptomen; offensichtlich reichen die im Quarzsand und in der Grunddüngung enthaltenen Zinkmengen ebenfalls für ein normales Wachstum der Tomatenpflanzen aus.

Entwicklungsstörungen durch hohe Zinkkonzentrationen treten in diesem Versuch eigentlich nur in der höchsten Steigerungsstufe -

in den Gefäßen der VR.9 (781,25 mgZn/Gefäß) auf. Auch hier sind zunächst die jungen Blätter, besonders die Blattspitzen, nach einigen Tagen (26.6.1961) etwas aufgehellt, ohne eine Marmorierung wie im Manganversuch zu zeigen, die jedoch nach 8 Tagen (4.7.1961) deutlich hervortritt (gelbgrün/grün). Die Wachstumsdepressionen sind in VR.9 aber bei weitem nicht so stark ausgeprägt wie in allen anderen vorher besprochenen Sandkulturversuchen. Die Entwicklung der Pflanzen sowie der Blühablauf und die Fruchtentwicklung zeigen innerhalb der Versuchsreihen 1 - 8 keine merklichen Unterschiede; lediglich die VR.9 macht eine Ausnahme und weist relativ geringe Wachstumsstörungen und Blühverzögerungen auf. Am Ende des Versuches ist wohl das Sproßgewicht in VR.9 deutlich niedriger als in den übrigen Zinkversuchsreihen, jedoch erreicht der Fruchtertrag trotz Reifeverzögerung und größerer Anzahl kleinerer Früchte das Höchstertragsniveau.

Allgemein bewirkten hohe bis sehr hohe Nährstoffgaben eine Verlängerung der vegetativen Wachstumsphase und somit eine Reifeverzögerung bei den Tomatenfrüchten.

- | | | |
|----|-------------------|---|
| N | VR ₈ : | teils schorfig (B-Mangel) und meistens grün, Sproß zeigte ebenfalls Blattverfärbungen vom Rand her (gelb, Bormangel?) |
| B | VR ₉ : | fast alle grün |
| | | Fe VR ₈) größtenteils grün |
| Cu | VR ₈) | größtenteils grün |
| | VR ₉) | |
| | | Zn VR ₉ : fast alle grün |

Die erste Ernte - nur Sproß - erfolgte am 26.7.1961 und die zweite Ernte - Sproß + Früchte - wurde am 25.9.1961 abgeschlossen.

c) Versuchsergebnisse:

-44-

Ertrag, Nährstoffgehalt und Nährstoffentzug

1. Ernte

Der Höchstertrag erreichte im Durchschnitt der N-, B-, Cu-, Mn- und Zn-Sandkulturversuche z.Zt. der 1. Ernte am 26.7.1961 einen Wert von 13,4 g Trockensubstanz (12,4 - 15,1 g Tr.S.) pro Gefäß und stellte sich übereinstimmend in VR₆ ein. Da die N-Düngung zu diesem Zeitpunkt in den Mikronährstoffversuchen 1,0 g N/Gefäß betrug, ist es nicht verwunderlich, daß unter diesen Gegebenheiten das Ertragsmaximum des N-Versuches ebenfalls in VR₆ lag; die nächst höhere N-Gabe (1,6 g N/Gefäß) verursachte bereits Wachstumsstörungen.

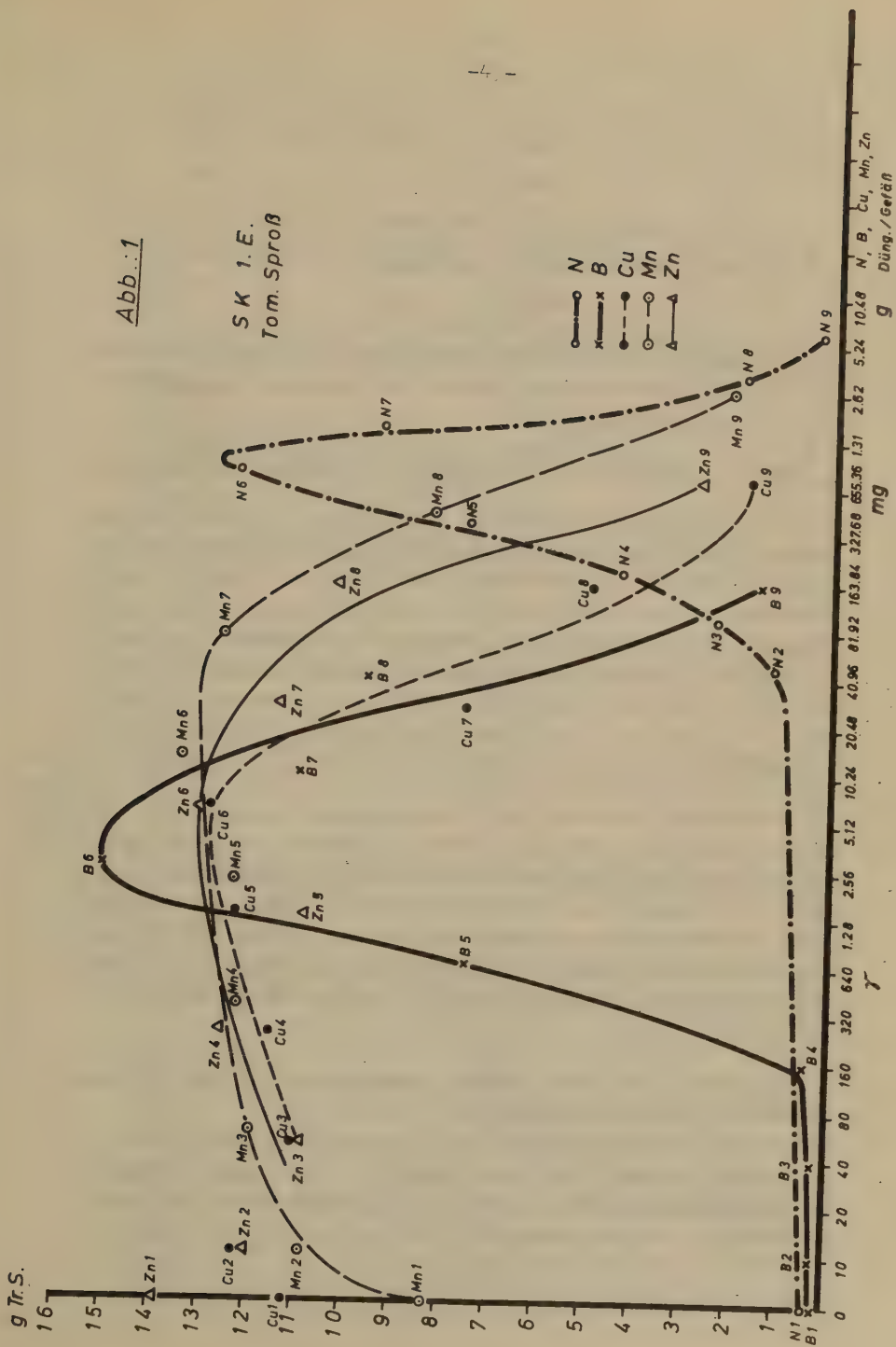
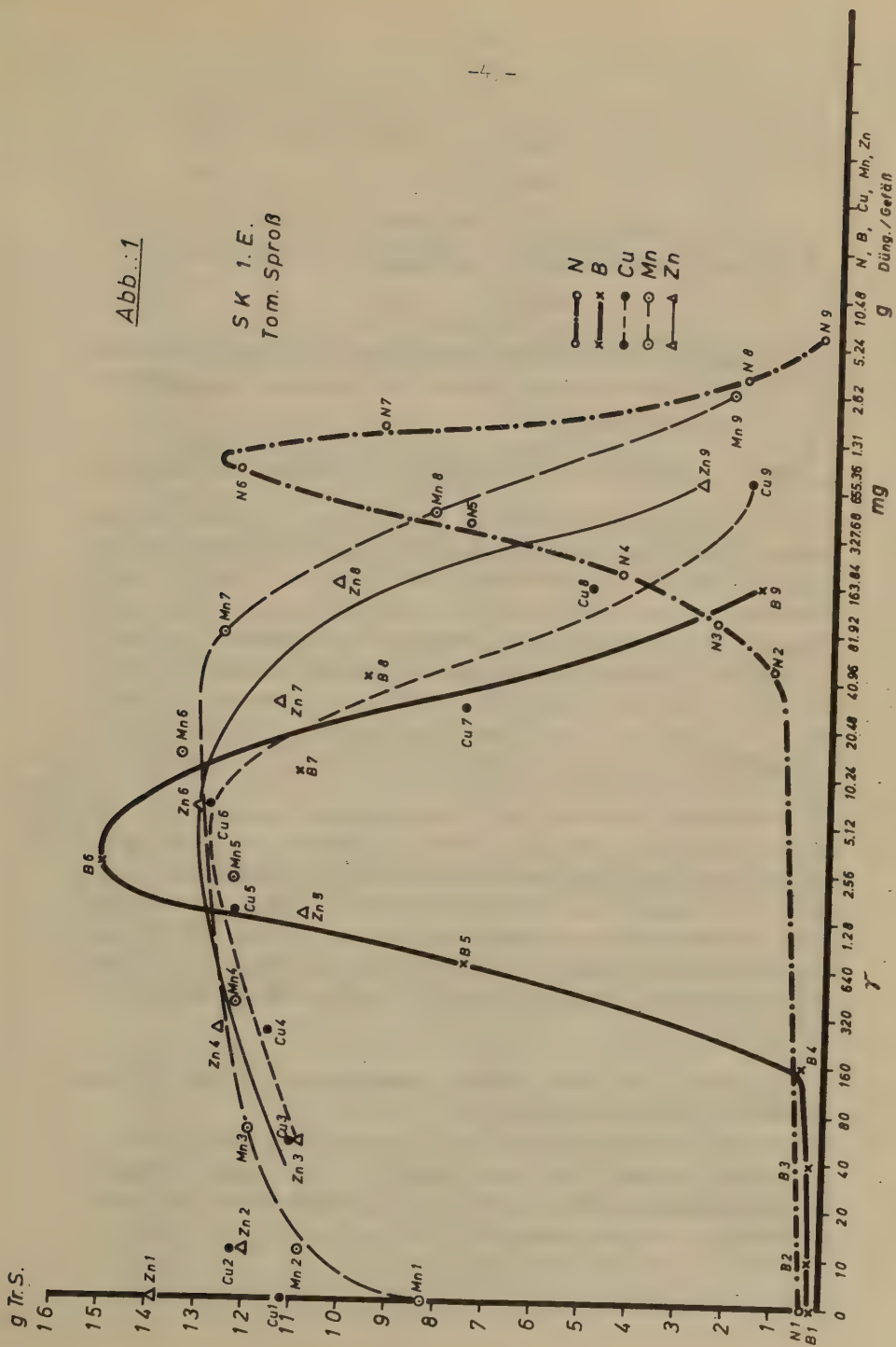
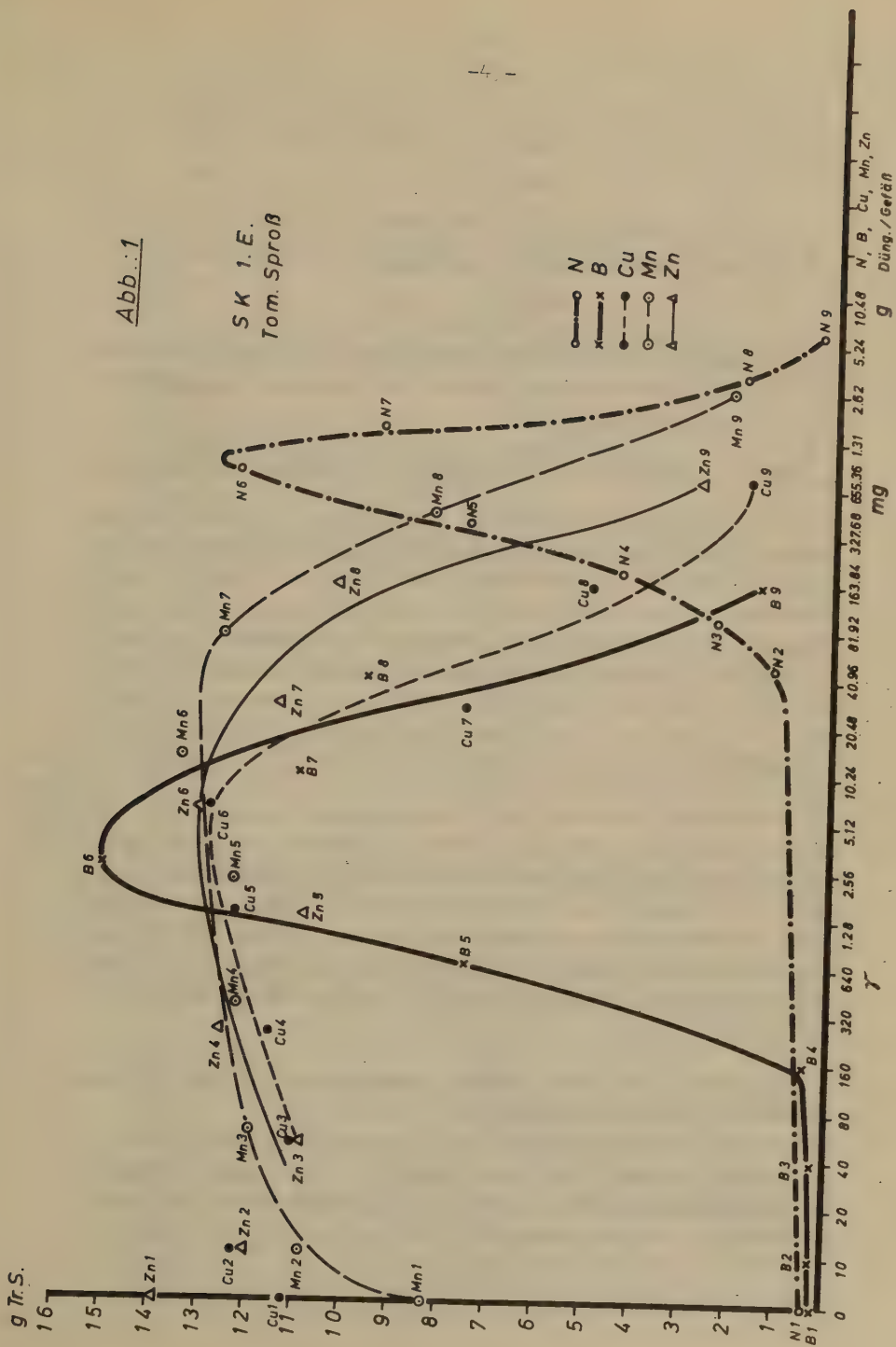
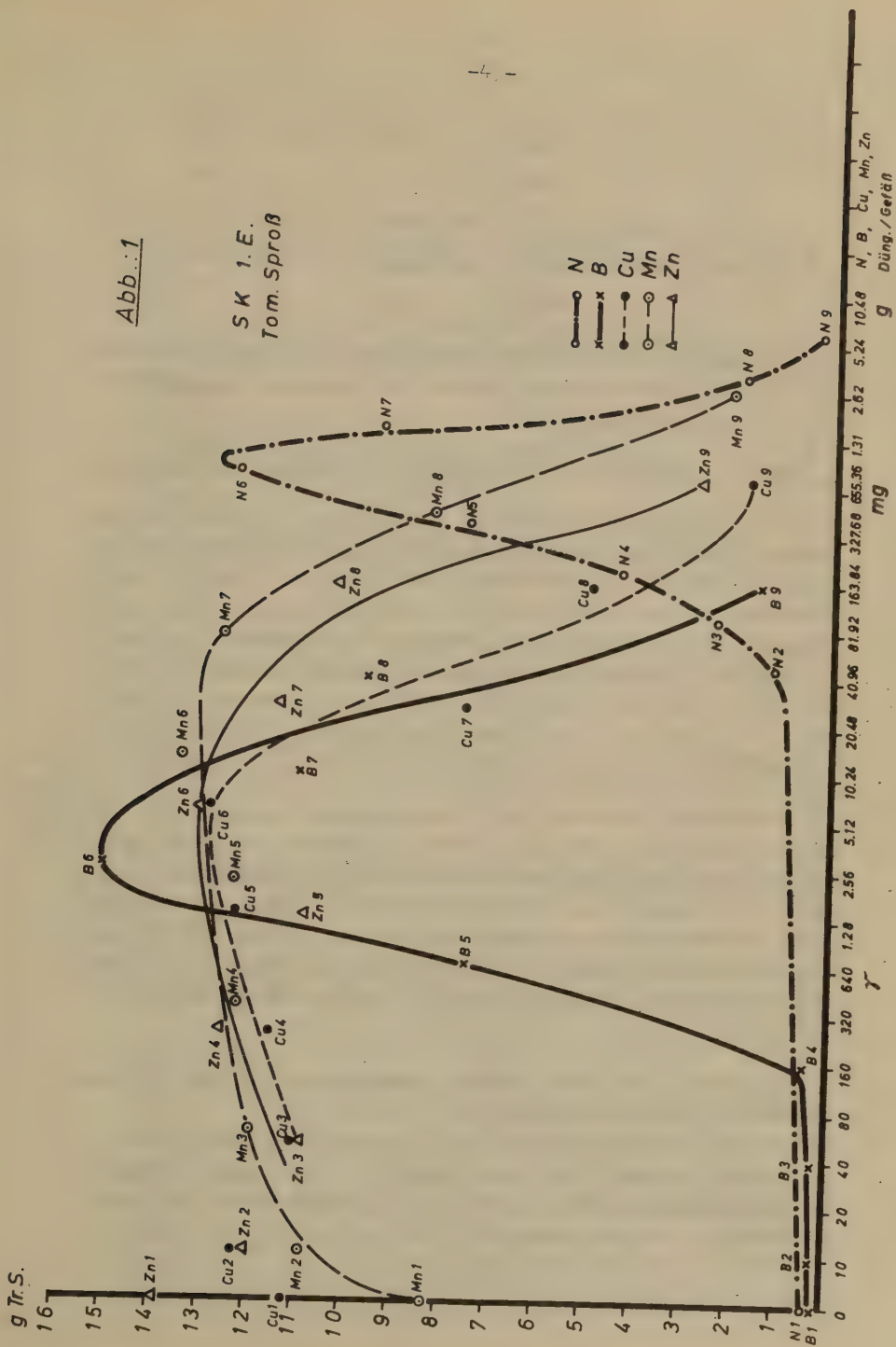
Die Abbildung 1 gibt die Erträge in Form von Ertragskurven wieder, die durch die Steigerung der bereits erwähnten Elemente gebildet wurden.

Am ausgeprägtesten ist die Stickstoffertragskurve, die vom starken Stickstoffmangel über das Ertragsmaximum bis zu starker Stickstofftoxizität verläuft. Der Stickstoffertragskurve am nächsten kommt die des Bors, jedoch sind hier die Erträge im Mangelbereich weniger deutlich abgestuft. Da der Kupfergehalt des Quarzsandes offensichtlich für ein normales Pflanzenwachstum ausreichte, konnte sich in den Gefäßen, die keine oder nur eine sehr geringe Kupfergabe erhielten, kein Kupfermangel ausbilden. Daher fehlt dieser Teil der Kupferertragskurve. Zu stärkerem Mangel kam es auch nicht im Manganversuch, wie die entsprechende Kurve zeigt. Der Verlauf der Zinkertragskurve entspricht unter den gegebenen Bedingungen im großen und ganzen demjenigen des Kupferversuches. Im Gegensatz zu Stickstoff und Bor, die ausschließlich in VR₆ ihr Ertragsmaximum haben, erstreckt sich der Höchstertragsbereich innerhalb der Kupfer-, Mangan- und Zinksteigerungsversuche in weiteren Grenzen, und zwar bei Kupfer und Zink von VR₁ - VR₆ bzw. VR₇ und bei Mangan von VR₃ - VR₇.

Mit der Steigerung der variierten Nährstoffe erfolgte im allgemeinen auch eine Erhöhung der Konzentration dieser Elemente in den Versuchspflanzen (s. Tabelle 7, S. 58). Die Gehalte der gesteigerten Nährstoffe schwankten zwischen:

Abb.: 1

SK 1. E.
Tom. Sproß



VR ₁	8,5	-	87,1 mg	N/g	Tr.S.	VR ₉
VR ₁	0,5	-	3233,1 ug	B/g	" "	"
VR ₂	6,0	-	74,3 ug	Cu/g	" "	"
VR ₂	8,4	-	6040,3 ug	Mn/g	" "	"
VR ₃	23,3	-	1419,8 ug	Zn/g	" "	"

In VR₆, in der sich der Höchstertrag für alle Versuchsreihen einstellte, erreichten die Gehalte der gesteigerten Nährstoffe pro g Tr.S. folgende Werte:

21,4 mgN 48,7 ugB 23,9 ugCu 96,1 ugMn 52,7 ugZn

Bei den hohen Nährstoffgaben in VR₉ kommt es in allen Steigerungsversuchen zu sehr starken Ertragsdepressionen. Im allgemeinen setzen die Wachstumsstörungen bereits in VR₇ ein und sind zunächst nur schwach (Zn, B, Mn) oder mäßig ausgeprägt (N und Cu). Die Entzüge der gesteigerten Nährstoffe verstärken sich mit zunehmendem Ertrag und erreichen meistens ihre höchsten Werte bei mittleren bis stärkeren Ertragsdepressionen in VR₇ (N, Cu), VR₈ (B, Mn) und VR₉ (Zn). (siehe Tabelle 1-5, S.47ff).

Die Konzentration der mit der Grunddüngung verabreichten Nährstoffe verringert sich in der Trockensubstanz zusehends mit der Erhöhung der Pflanzenerträge bis zum Ertragsoptimum und steigt mit zunehmenden Wachstumsstörungen wieder an. Der Einfluß der gesteigerten Elemente selbst auf die Gehalte und Aufnahme der übrigen Nährstoffe ist gering und die zu beobachtenden Schwankungen sind größtenteils ertragsbedingt (siehe Tabelle 1-5, S.47ff).

Jedoch können vereinzelt gewisse Abweichungen in der Nährstoffaufnahme festgestellt werden.

Obwohl der Phosphorgehalt in den Pflanzen der Cu-VR₉ nicht allzu sehr abnimmt, ist eine Hemmung in der Phosphoraufnahme bei toxischen Kupferkonzentrationen im Nährmedium nicht ausgeschlossen. Der Kaliumgehalt liegt in der Mn- und Zn-VR₉

Tabelle 1

Tomaten in Sandkultur 1961

N-Steigerungsversuch, 1. Ernte Spross

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. $\mu\text{g-Atom}\%$) und -entzüge (mg bzw. $\mu\text{g/Gefäß}$)

V.R.	N- mg	Düng g/Gef.	Ertrag/Gef. g. Tr. S.	mg-Atom %, Tr. S.				µg-Atom %, Tr. S.				
				N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn
1	0	0,3		60,5	15,3	96,6	35,2	19,0	371,5	30,0	319,8	117,1
2	50	1,2		77,1	18,9	104,6	32,8	28,1	440,4	25,8	436,2	73,4
3	100	2,4		86,0	18,1	98,8	32,7	25,4	402,0	27,4	355,1	68,9
4	200	4,4		96,4	17,5	97,0	39,2	23,1	383,4	29,0	331,7	71,8
5	400	7,7		108,4	16,2	98,0	39,6	20,6	404,9	30,4	272,4	81,2
6	800	12,4		152,7	15,4	94,5	45,5	21,0	456,5	38,0	201,4	90,5
7	1600	9,4		237,9	15,6	80,2	48,5	19,2	405,3	45,6	189,5	122,1
8	3200	1,9		348,5	15,7	83,5	51,2	18,8	254,4	106,7	237,5	246,2
9	6400	0,3		621,5	15,1	90,3	31,4	23,6	87,1	198,4	234,5	320,8
V.R.	N- mg	Düng g/Gef.	Ertrag/Gef. g. Tr. S.	mg-Entzug				Mg	µg-Entzug			
				N	P	K	Ca		B	Cu	Mn	Zn
1	0	0,3		2,8	1,6	12,5	4,7	1,5	13,3	6,3	58,2	25,4
2	50	1,2		12,9	7,0	48,8	15,7	8,1	56,8	19,6	285,7	61,1
3	100	2,4		29,1	13,5	93,4	31,7	14,9	105,2	42,0	471,8	109,0
4	200	4,4		59,4	23,8	166,8	69,1	24,7	182,4	80,9	801,4	206,5
5	400	7,7		116,3	38,5	293,6	121,6	38,4	335,7	148,0	1146,7	406,6
6	800	12,4		265,6	59,1	458,7	226,4	63,4	613,3	299,7	1373,8	783,1
7	1600	9,4		314,8	45,6	296,0	183,5	44,2	414,1	273,7	983,2	754,1
8	3200	1,9		91,8	9,2	61,4	38,6	8,6	51,8	127,5	245,2	302,6
9	6400	0,3		27,2	1,5	11,1	3,9	1,8	3,0	39,5	40,3	65,6

Tabelle 2

Tomaten in Sandkultur 1961

B-Steigerungsversuch, 1. Ernte Späb

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. μg -Atom%) und -entzüge (mg bzw. μg /Gefäß)

V.R.	B-Düng mg B/Gef.	Ertrag/Gef. g. Tr. S.	mg - Atom %, Tr. S.				µg - Atom %, Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn
1	0,00	0,2	264	14	127	32	38	5	277	171	332
2	0,01	0,2	252	14	113	31	32	25	247	163	198
3	0,04	0,2	252	13	111	27	32	20	198	155	149
4	0,16	0,4	275	14	129	38	31	93	157	163	181
5	0,64	7,6	205	16	97	45	22	137	48	192	106
6	2,56	15,1	159	14	80	39	18	450	34	151	81
7	10,24	11,0	173	14	91	44	21	2258	40	173	97
8	40,96	9,7	203	18	106	45	23	7431	41	226	103
9	163,84	1,5	305	23	174	49	33	29881	53	418	176
V.R.	B-Düng mg B/Gef.	Ertrag/Gef. g. Tr. S.	mg - Entzug				µg - Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn
1	0,00	0,2	6,5	0,8	8,7	2,3	1,6	0,1	31,0	16,6	33,1
2	0,01	0,2	8,2	1,0	10,3	2,9	1,8	0,6	36,4	20,7	29,9
3	0,04	0,2	7,9	0,9	9,6	2,5	1,8	0,5	28,0	18,9	21,7
4	0,16	0,4	17,1	2,0	22,3	6,7	3,4	4,5	44,2	39,8	52,7
5	0,64	7,6	217,2	37,1	287,1	136,6	39,8	112,3	233,0	797,4	524,6
6	2,56	15,1	336,3	67,1	474,2	243,4	65,3	735,9	325,9	1253,6	795,9
7	10,24	11,0	266,1	51,8	390,2	195,4	56,9	2688,8	277,8	1047,2	693,4
8	40,96	9,7	276,4	54,8	400,9	176,6	54,8	7807,8	250,6	1203,6	655,8
9	163,84	1,5	64,5	10,8	102,7	29,3	12,2	4876,5	50,7	340,1	173,9

Tabelle 3

Tomaten in Sandkultur 1961

Cu-Steigerungsversuch, 1. Ernte Sproß

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. $\mu\text{g-Atom}\%$) und -entzüge (mg bzw. $\mu\text{g/Gefäß}$)

V.R.	Cu- Düng. mg/Gef.	Ertrag/Gef. g. Tr. S.	mg- Atom %, Tr. S.				µg- Atom %, Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn
1	0,00	11,3	165	14	79	40	19	397	10	139	91
2	0,01	12,2	177	15	85	39	19	418	9	208	103
3	0,05	11,1	178	16	89	43	20	427	11	219	137
4	0,25	11,6	170	15	81	42	18	413	11	207	93
5	1,25	12,3	178	15	83	42	18	398	20	210	95
6	6,25	12,9	175	15	83	40	18	411	38	213	93
7	31,25	7,7	203	16	96	40	22	463	66	225	100
8	156,25	5,0	235	15	107	35	26	494	99	150	94
9	781,25	1,8	283	13	112	35	27	495	117	187	100
V.R.	Cu- Düng. mg/Gef.	Ertrag/Gef. g. Tr. S.	mg- Entzug				µg- Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn
1	0,00	11,3	260,9	49,7	347,0	179,2	51,1	484,4	69,9	1168,6	674,7
2	0,01	12,2	304,0	55,1	408,4	188,9	57,3	553,3	73,3	1398,0	820,7
3	0,05	11,0	276,0	53,1	384,3	189,7	53,9	510,6	78,6	1330,3	757,4
4	0,25	11,6	276,4	52,9	368,9	194,2	51,5	517,9	84,3	1316,0	705,9
5	1,25	12,3	306,4	56,8	401,7	207,1	54,9	530,4	156,8	1420,9	766,7
6	6,25	12,9	316,2	59,4	417,7	209,0	57,2	574,2	308,0	1508,4	780,5
7	31,25	7,7	217,8	37,7	286,9	122,5	41,4	383,1	321,7	945,6	500,5
8	156,25	5,0	165,7	24,0	210,4	70,9	31,3	269,6	316,3	415,8	310,4
9	781,25	1,8	68,5	6,8	75,7	24,4	11,4	92,7	128,7	117,7	112,7

Tabelle 4

Tomaten in Sandkultur 1961

Mn-Steigerungsversuch, 1. Ernte Sproß

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. µg-Atom%) und -entzüge (mg bzw. µg/Gefäß)

V.R.	Mn- mg Düng. Menge	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Atom%, Tr. S.					µg-Atom%, Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	8,3	235	17	110	50	25	481	43	16	82	
2	0,01	10,8	221	17	105	47	24	470	38	15	81	
3	0,06	11,9	184	15	92	43	19	412	33	18	70	
4	0,36	12,3	181	15	87	41	19	430	32	25	68	
5	2,16	12,3	182	15	88	41	18	437	32	60	77	
6	12,96	13,5	185	16	90	43	18	449	30	175	75	
7	77,76	12,7	187	17	88	42	19	448	30	721	64	
8	466,56	8,4	213	19	104	50	19	445	22	3314	83	
9	2799,36	2,0	319	17	167	37	20	539	16	10941	116	
V.R.	Mn- mg Düng. Menge	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Entzug					µg-Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	8,3	272,6	43,2	357,9	164,3	49,5	431,0	227,4	73,6	446,2	
2	0,01	10,8	335,0	56,8	446,5	205,6	62,9	551,4	263,9	91,3	570,6	
3	0,06	11,9	306,4	56,2	426,6	203,4	56,2	530,3	251,6	115,7	547,3	
4	0,36	12,3	311,3	55,9	414,8	200,4	55,2	561,8	248,3	165,8	544,8	
5	2,16	12,3	313,9	56,7	423,2	202,0	54,5	583,4	253,3	403,4	625,0	
6	12,96	13,5	350,1	67,4	472,9	235,0	60,1	655,8	259,4	1296,4	664,1	
7	77,76	12,7	332,5	68,7	435,9	211,5	57,6	615,6	238,8	5026,9	532,6	
8	466,56	8,4	251,4	50,4	343,5	170,2	39,0	405,2	117,5	15326,2	455,6	
9	2799,36	2,0	90,8	10,5	132,5	30,2	10,0	118,5	20,7	12224,6	154,8	

Tabelle 5

Tomaten in Sandkultur 1961

Zn-Steigerungsversuch, 1. Ernte Spieß

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. µg-Atom%) und -entzüge (mg bzw. µg/Gefäß)

V.R.	Zn- mg Zn/Gef.	Düng g. Tr. S.	Ertrag/Gef. g. Tr. S.	mg-Atom %, Tr.S.						µg-Atom %, Tr.S.					
				N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn			
1	0,00		14,0	171	15	78	40	17	465	31	161	48			
2	0,01		11,9	186	15	88	41	20	481	35	176	41			
3	0,05		10,9	200	15	96	42	21	496	37	192	36			
4	0,25		12,6	184	15	90	40	19	490	34	193	37			
5	1,25		10,9	189	16	92	44	19	462	34	168	49			
6	6,25		13,1	185	17	90	44	19	472	34	188	81			
7	31,25		11,5	177	17	87	42	20	459	37	232	105			
8	156,25		10,3	219	17	95	42	22	484	44	218	551			
9	781,25		2,8	232	16	136	52	29	591	55	201	2171			

V.R.	Zn- mg Zn/Gef.	Düng g. Tr. S.	Ertrag/Gef. g. Tr. S.	mg-Entzug						µg-Entzug					
				N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn			
1	0,00		14,0	334,5	63,3	424,7	224,3	58,1	703,3	272,7	1235,2	441,3			
2	0,01		11,9	311,3	56,1	409,6	197,4	58,7	620,9	261,5	1166,2	317,3			
3	0,05		10,9	304,9	50,7	408,6	185,3	56,4	585,3	254,1	1151,7	254,4			
4	0,25		12,6	323,9	57,6	441,5	201,8	59,1	666,0	272,4	1333,8	304,7			
5	1,25		10,9	288,3	53,1	391,8	193,0	50,6	544,3	237,9	1066,4	348,0			
6	6,25		13,1	340,1	67,1	461,4	232,1	60,1	670,3	283,4	1354,2	691,5			
7	31,25		11,5	284,7	58,6	389,3	193,7	56,2	570,5	271,6	1466,3	1235,8			
8	156,25		10,3	317,5	55,3	384,7	173,3	54,8	542,2	291,8	1238,8	3735,2			
9	781,25		2,8	89,5	13,9	145,8	57,7	19,1	176,0	96,8	304,3	3905,4			

Tabelle 6

Der Einfluß sehr hoher N-, B-, Cu-, Mn- und Zn-Gaben auf den Pflanzenenertrag und den Gehalt und Entzug dieser Nährstoffe (Sandkulturversuch mit Tomaten 1961 1. Ernte: Sproß)

N	B	Cu	Mn	Zn
<u>VR₈</u>				
1,9 48,8 ⁺	9,7 804,0	5,0 62,7	8,4 1820,8	10,3 g Tr.S./Gefäß 360,1 mg ⁺ bzw. ug/g Tr.S.
3200 91,8 ⁺⁺	41,0 7807,6	156,3 316,3	466,6 15326,2	156,3 mg/Gefäß (Düngung) 3735,2 mg ⁺⁺ bzw. ug/Gef.(Entz.)
2,9	19,1	0,2	3,3	2,4 % Aufn.(Entzug) d. Düngung/Gefäß
<u>VR₉</u>				
0,3 87,1 ⁺	1,5 3233,1	1,8 74,3	2,0 6040,3	2,8 g Tr.S./Gefäß 1419,8 mg ⁺ bzw. ug/g Tr.S.
6400 27,2 ⁺⁺	163,8 4876,5	781,3 128,7	2799,4 12224,6	781,3 mg/Gefäß (Düngung) 3905,4 mg ⁺⁺ bzw. ug/Gef.(Entz.)
0,4	3,0	0,02	0,4	0,5 % Aufn.(Entzug) d. Düngung/Gefäß

etwas höher als beispielsweise in der Cu-VR₉ bei etwa vergleichbaren Erträgen. Auffallend ist der relativ niedrige Kalziumgehalt der Stickstoff- und Bormangelreihen. Hohe Stickstoff- und Mangangehalten setzen die Magnesiumaufnahme (VR₈) herab. Erstere scheint offenbar ebenfalls einen derartigen Einfluß auf die Aufnahme des Bors (VR₈ u. VR₉), letztere auf die Aufnahme des Kupfers (VR₉) auszuüben. In VR₈ des Kupferversuches ist die Manganaufnahme (Gehalt und Entzug) vermindert. Weiterhin sind der hohe Mangangehalt in VR₉ des Borversuches und vor allem die im Stickstoffversuch ab VR₂ bzw. VR₃ bis VR₉ erheblich ansteigenden Kupfer- bzw. Zinkgehalte sehr bemerkenswert.

Die Entzüge der Grundnährstoffe richten sich im allgemeinen nach der Höhe der Erträge.

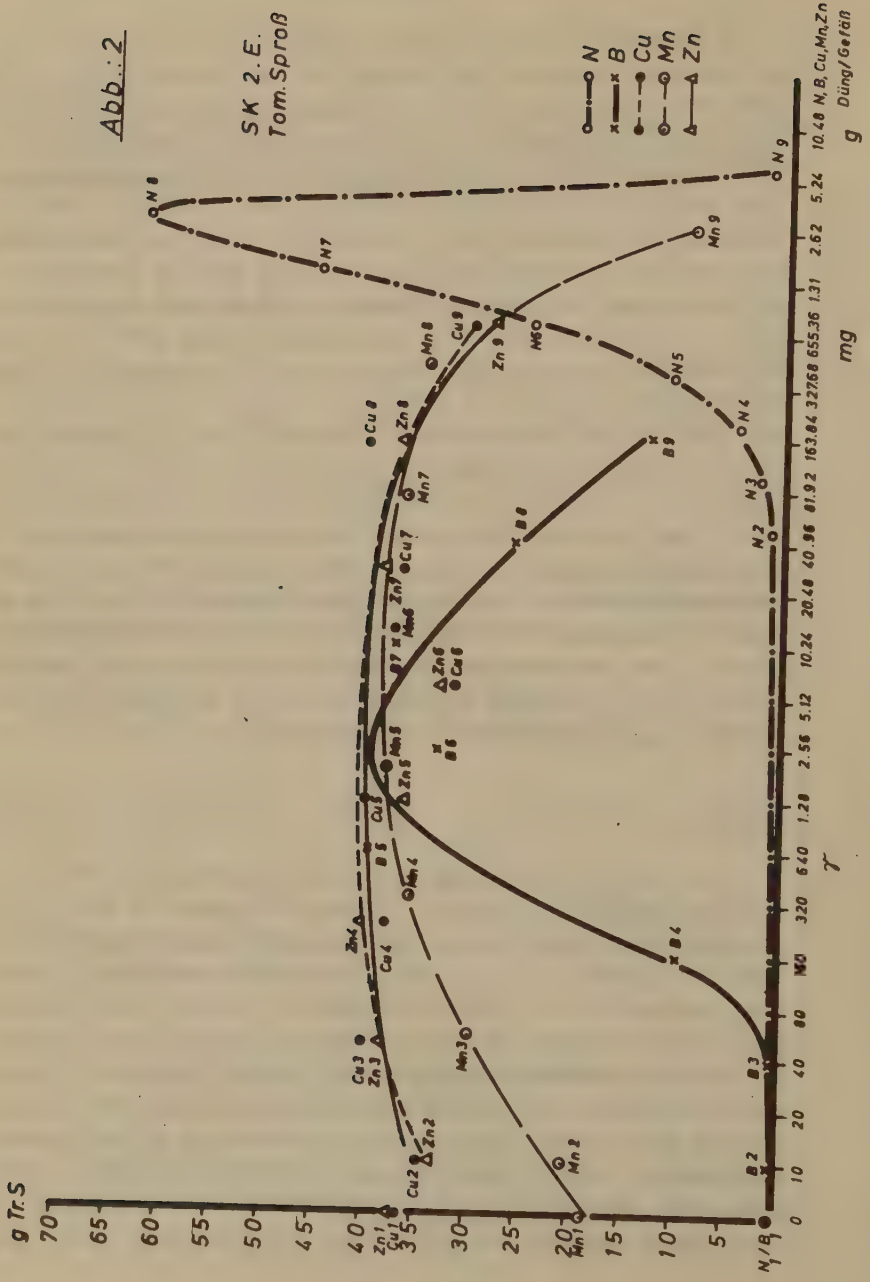
Die in den Tabellen angegebenen Gehalte der untersuchten Pflanzennährstoffe sind - wie auch später in dem PVC- und Wasserkulturversuchen - in mg-Atom % (Makronährstoffe) bzw. in ug-Atom % (Mikronährstoffe) ausgedrückt, um die Nährstoffverhältnisse in der Pflanzensubstanz exakter wiederzugeben. Dagegen erscheinen die Entzüge in den Tabellen in mg (Makronährstoffe) bzw. ug (Mikronährstoffe) pro Gefäß.

2. Ernte

Wiederum ist es die Ertragskurve des Stickstoffversuches, die mit ihrem Mangel-, Optimal- und Toxizitätsbereich die vollständige Ertragskurve - im Vergleich zu allen übrigen Versuchen der 2. Ernte am 25.9.1961 - am besten wiedergibt. Schwächer ausgeprägt ist, genau wie bei der 1. Ernte, die Borertragskurve. Die toxischen Borgaben rufen allerdings in VR₉ nicht so starke Wachstumsstörungen hervor wie die höchste Stickstoffgabe. Die Ergebnisse des Manganversuches zeigen, daß es auch während des zweiten Vegetationsabschnittes zu keinem starken Manganmangel kommt, jedoch liegen die Erträge der VR₁ - VR₃ erheblich unter dem Maximalertrag in VR₇. In dem Kupfer- und Zinkversuch treten weder Mangelercheinungen auf, noch führen

Abb.: 2

SK 2.E.
Tom. Sproß



g Tr.S.

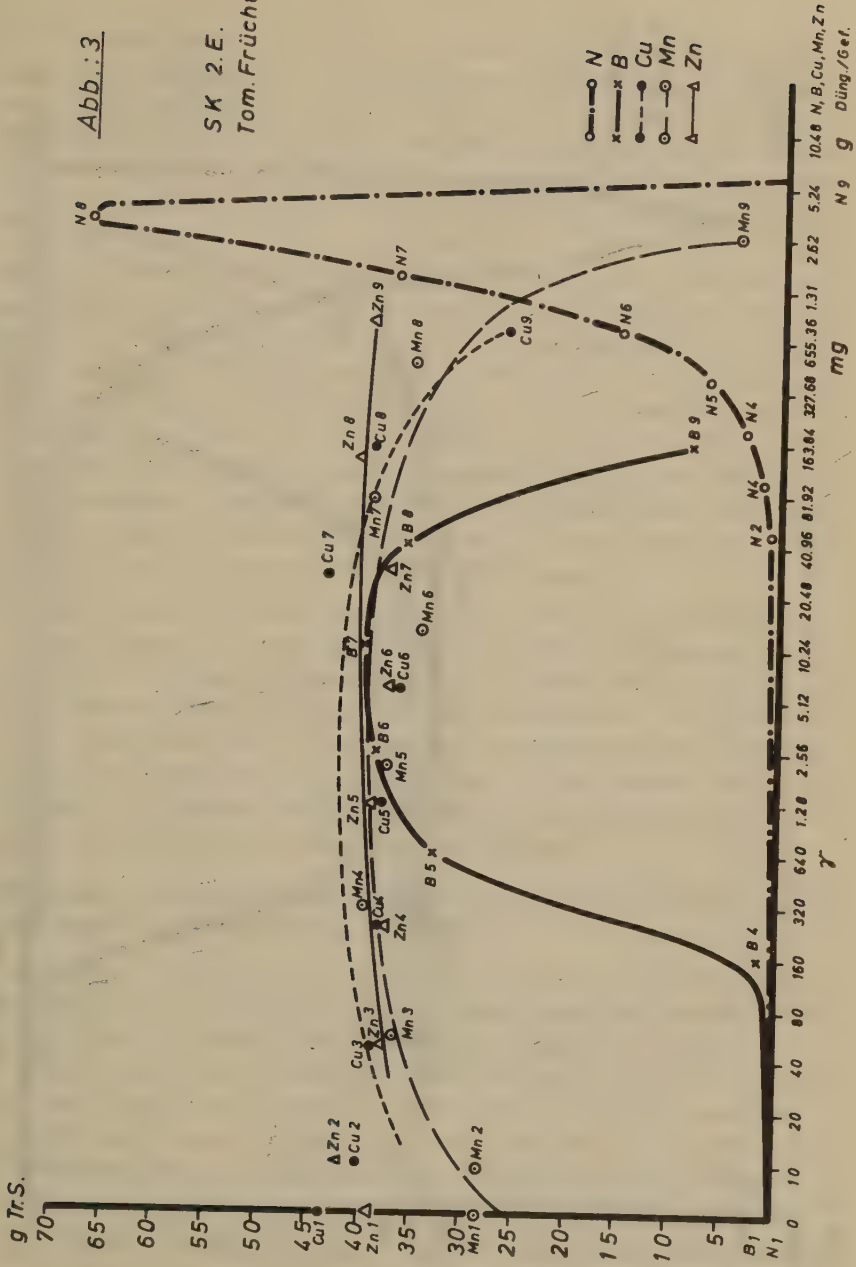


Abb.: 3

SK 2.E.
Tom. Früchte

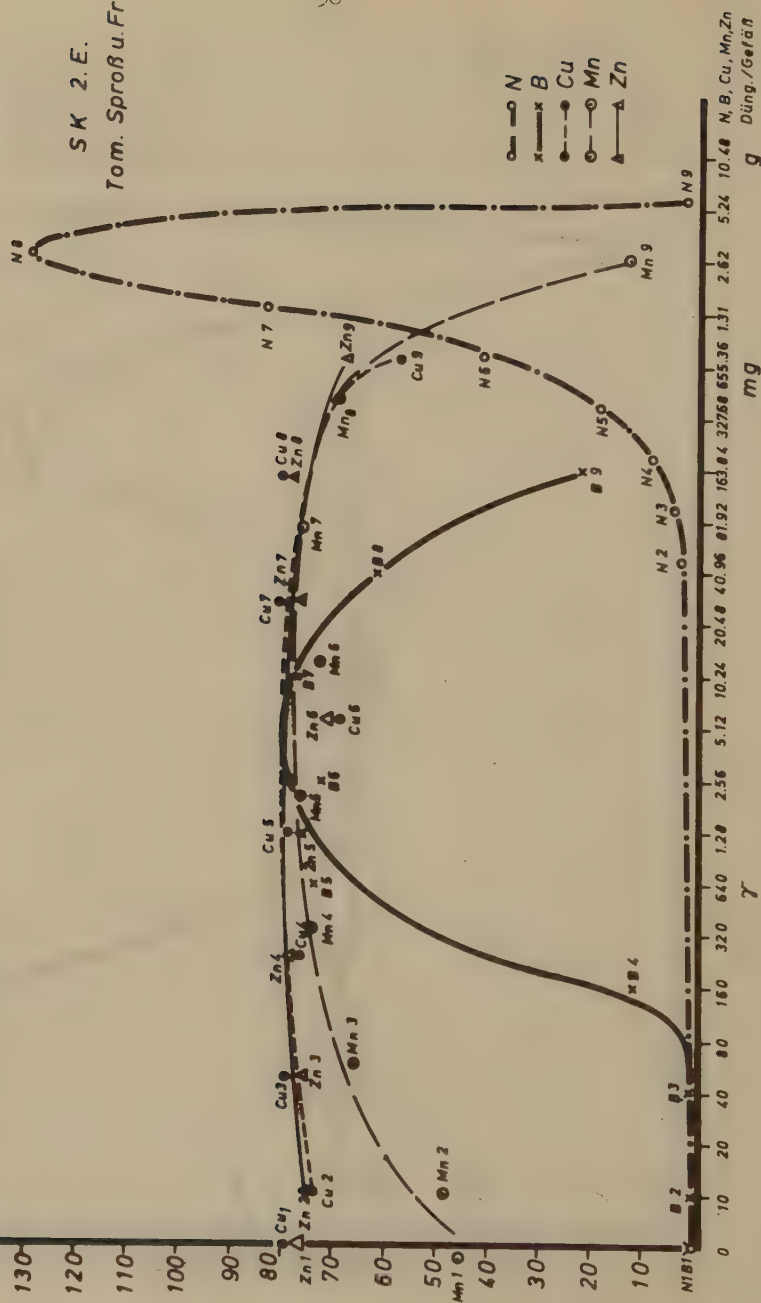
N₉ g Düng./Gef.
10.46 N, B, Cu, Mn, Zn

g Tr. S.

Abb. 4

SK 2.E.

Tom. Sproß u. Früchte



geringe Kupfer- bzw. Zinkgaben zu deutlichen Ertragsausfällen. Die Ertragskurven dieser beiden Mikronährstoffe verlaufen fast horizontal von VR₁ nach VR₈ ohne stärkere Ertragschwankungen und lassen nur relativ schwache Wachstumsschäden in der VR₉ bei hohen Kupfer- und Zinkgaben erkennen (s. Abb. 2-4). Erwähnenswert ist ihr sich fast deckender Kurvenverlauf von VR₁ - VR₉ (Sproß).

Der Höchstertrag, der zur 1. Ernte praktisch bei allen Sandkulturversuchen in VR₆ zu finden war, liegt für Stickstoff zum zweiten Erntezeitpunkt in VR₈, für Bor in VR₇ (VR₅ - VR₇), für Mangan in VR₅ (VR₄ bis VR_{7/8}), für Kupfer in VR₇ (VR₁ - VR₈) und für Zink in VR₄ (VR₁ - VR₈), er erreicht im Durchschnitt einen Wert von 78,8 g Trockensubstanz pro Gefäß. Die in Klammern gemachten Angaben beziehen sich auf den Höchstertragsbereich. Allerdings erstreckte sich auch schon zur 1. Ernte - wie die Tabelle 7, (S. 58) zeigt - diese Zone bei Mangan, Kupfer und Zink über mehrere Versuchsreihen.

Während die durch sehr hohe Nährstoffgaben in VR₉ hervorgerufenen starken Wachstumsdepressionen im Stickstoffversuch bis zum Ende der Vegetationszeit anhalten, kann eine zunehmende Abschwächung der Wachstumsstörungen von Mangan - Bor - Kupfer - Zink festgestellt werden. In den beiden letztgenannten Versuchen sind die durch die anfänglich sehr toxisch wirkenden Nährstoffmengen bedingten starken Ertragsminderungen am Versuchsende selbst in VR₉ relativ gering.

Betrachtet man die Sproß- und Fruchterträge der zweiten Ernte getrennt, ergibt sich folgendes Bild:

Stickstoff: In VR₁ und VR₉ des Stickstoffversuches kommt es infolge starken N-Mangels bzw. N-Überschusses zu keiner Fruchtbildung. Fernerhin zeigen die Ernteergebnisse, daß - wie beispielsweise beim Getreide - bei Stickstoffmangel der Sproßertrag höher liegt als der Fruchtertrag (VR₃ - VR₇) und das im Gegensatz dazu bei hoher N-Zufuhr (leichtem N-Überschuß) der Substanzzuwachs zugunsten der Fruchtbildung (Kornausbildung) erfolgt.

Bor: Unter extremem Bormangel werden in VR₁ - VR₃ keine Früchte entwickelt. Selbst in VR₄ ist der Fruchtertrag noch sehr

Tabelle 7

Der Einfluß gesteigerter N-, B-, Cu-, Mn- und Zn-Gaben auf den Ertrag und den Gehalt dieser Elemente in der Trockensubstanz (Sandkulturversuch mit Tomaten 1961). Der niedrigste und höchste Gehalt des betreffenden Elementes innerhalb der Versuchsreihe ist unterstrichen.

1. = Erste Ernte Sproß
2. = Zweite Ernte Sproß
3. = Zweite Ernte Früchte

	VR ₁	VR ₂	VR ₃	VR ₄	VR ₅	VR ₆	VR ₇	VR ₈	VR ₉
<u>N</u>									
1.	0,3 <u>8,5</u>	1,2 10,8	2,4 12,0	4,4 13,5	7,7 15,2	12,4 21,4	9,4 33,3	1,9 48,8	0,3 g TrS <u>87,1</u> mgN/g
2.	0,2 6,7	1,0 5,3	2,1 4,8	4,4 4,8	10,8 4,6	24,8 <u>4,5</u>	45,0 7,1	61,5 19,7	1,5 g TrS <u>92,8</u> mgN/g
3.	- -	1,0 9,9	1,7 <u>9,0</u>	3,6 9,5	7,3 9,6	15,6 10,2	37,6 13,4	67,5 <u>18,0</u>	- g TrS - MgN/g
<u>B</u>									
1.	0,2 <u>0,5</u>	0,2 2,7	0,2 2,2	0,4 10,1	7,6 14,8	15,1 48,7	11,0 244,4	9,7 804,0	1,5 g TrS <u>3233,1</u> ppm B
2.	0,2 18,3	0,3 16,4	0,3 15,7	9,6 <u>10,0</u>	39,9 10,8	32,9 34,9	37,2 165,2	25,5 621,8	13,1 g TrS <u>1703,2</u> ppm B
3.	- -	- -	- -	1,7 5,3	33,3 <u>3,9</u>	38,9 9,0	40,1 13,8	36,2 30,9	8,6 g TrS <u>241,1</u> ppm B

	V_{R_1}	V_{R_2}	V_{R_3}	V_{R_4}	V_{R_5}	V_{R_6}	V_{R_7}	V_{R_8}	V_{R_9}
<u>Cu</u>									
1.	11,3	12,2	11,1	11,6	12,3	12,9	7,7	5,0	1,8 g TrS
	6,2	<u>6,0</u>	7,1	7,3	12,7	23,9	42,0	62,7	<u>74,3</u> ppm Cu
2.	36,3	33,9	40,1	37,7	40,1	31,5	36,6	40,0	29,9 g TrS
	2,5	<u>2,2</u>	2,2	2,3	4,6	10,0	31,4	56,0	<u>85,5</u> ppm Cu
3.	43,2	40,0	39,0	38,4	38,4	37,1	43,7	39,7	27,0 g TrS
	<u>3,0</u>	3,9	3,6	4,2	5,4	7,2	9,0	11,4	<u>14,3</u> ppm Cu

<u>Ln</u>										
1.	8,3	10,8	11,9	12,3	12,3	13,5	12,7	8,4	2,0 g TrS	
	8,9	<u>8,4</u>	9,7	13,5	32,7	96,1	396,1	1820,8	<u>6040,3</u> ppm Mn	
2.	18,4	20,3	29,6	35,8	38,2	37,5	36,3	34,3	8,5 g TrS	
	13,8	11,8	11,3	<u>10,2</u>	18,5	71,9	594,6	1381,2	<u>2166,3</u> ppm Mn	
3.	28,0	28,0	36,3	38,8	37,9	34,6	39,7	35,7	4,0 g TrS	
	3,7	<u>3,3</u>	3,9	5,0	7,8	8,4	27,2	86,8	<u>306,7</u> ppm Mn	

$\frac{Zn}{\%}$	14,0	11,9	10,9	12,6	10,9	13,1	11,5	10,3	2,8 g TrS
1.	31,6	26,6	<u>22,3</u>	24,3	31,9	52,7	107,7	360,1	<u>1419,8</u> ppm Zn
2.	37,1	33,3	38,1	40,0	36,3	32,7	38,2	36,6	27,6 g TrS
	86,3	<u>31,8</u>	33,9	36,2	36,8	50,8	106,8	376,1	<u>1564,7</u> ppm Zn
3.	39,2	41,6	38,0	37,8	39,9	37,4	38,1	40,8	40,0 g TrS
	16,7	12,5	12,1	<u>11,7</u>	12,4	14,7	18,1	27,6	<u>68,5</u> ppm Zn

Tabelle 8

Der Einfluß gesteigerter N-, B-, Cu-, Mn- und Zn-Gaben auf das Sproß-Frucht-Verhältnis (Ertrag, Genalt, Entzug) bei Tomaten (Sandkulturversuch 1961, zweite Ernte, Sproß + Früchte)

N:	Gew./Pfln. in g	mgN/g Tr.S.	mg/g-Verh. Sproß/Frucht	mg-Entzugs-Vh. Sproß/Frucht	ertrags-Vh. Sproß-Frucht
	0,23	6,69	-	-	-
	2,03	7,62	0,54	0,53	0,99
	3,81	6,64	0,54	0,69	1,28
	7,97	6,87	0,51	0,63	1,25
	18,05	6,59	0,48	0,71	1,50
	40,38	6,71	0,44	0,70	1,59
	82,55	9,97	0,53	0,64	1,20
	129,01	18,79	1,10	1,00	0,91
	1,51	92,78	-	-	-

B:	Gew./Pfln. in g	ppm in d.Tr.S.	ppm-Verh. Sproß/Frucht	ug-Entzugs-Vh. Sproß/Frucht	Ertrags-Vh. Sproß/Frucht
	0,23	18,28	-	-	-
	0,25	16,41	-	-	-
	0,27	15,70	-	-	-
	11,26	8,79	1,89	10,99	5,78
	73,17	7,64	2,78	3,35	1,20
	71,76	20,85	3,89	3,29	0,85
	77,33	86,64	12,01	11,14	0,93
	61,74	275,33	20,10	14,18	0,71
	21,64	1123,32	7,07	10,75	1,52

	Seew./1 fln. in g	ppm in d. Fr.S.	ppm-Verh. Spross/Frucht	Wg.-Entzugs-Vh. Spross/Frucht	Ertrags-Vh. Sproß/Frucht
Ju:	79,52	2,80	0,83	0,70	0,84
	73,90	3,14	0,56	0,47	0,85
	79,04	2,85	0,63	0,65	1,02
	76,08	3,25	0,54	0,53	0,98
	78,49	4,98	0,84	0,88	1,04
	68,54	8,50	1,39	1,18	0,85
	80,33	19,22	3,48	2,92	0,84
	79,74	33,80	4,94	4,98	1,01
	55,93	54,97	6,00	6,65	1,11
En:	46,40	8,57	3,77	2,87	0,66
	48,29	6,88	3,56	2,59	0,73
	65,89	7,26	2,88	2,35	0,82
	74,57	7,48	2,03	1,87	0,92
	76,10	13,16	2,38	2,40	1,01
	72,13	41,42	8,60	9,34	1,08
	75,94	298,13	21,85	19,96	0,91
	70,00	721,51	15,91	15,31	0,96
	12,48	1572,24	7,06	15,03	2,13
Zn:	76,29	50,46	5,18	4,89	0,94
	74,90	21,11	2,54	2,04	0,80
	76,04	23,02	2,80	2,81	1,00
	77,88	24,35	3,09	3,27	1,06
	76,10	24,03	2,96	2,69	0,91
	70,16	31,54	3,47	3,03	0,87
	76,27	62,55	5,90	5,92	1,00
	77,32	192,39	13,64	12,24	0,90
	67,54	679,75	22,86	15,79	0,69

niedrig. Überschreiten die Borkonzentrationen des Nährmediums die zum Maximalertrag notwendige Menge (VR_8 und VR_9), so ist aus der Tabelle 7, (S.58) klar zu erkennen, daß bei mittlerem Überschuß (VR_8) der Ertrag an Sproß stärker negativ beeinflusst wird als derjenige an Früchten, daß dagegen aber bei sehr hohen Borgaben (VR_9) die Wachstumsdepressionen ertragsmäßig stärker bei den Früchten in Erscheinung treten.

Kupfer: In VR_9 beeinflussen toxische Kupfergaben - wie N, Mn und B - offensichtlich stärker das Frucht- als das Sproßwachstum, obgleich der Ertragsabfall ($VR_8 - VR_9$) hier weitaus geringer und die Ertragsunterschiede (Sproß und Früchte) relativ minimal sind.

Mangan: Im Vergleich zu N, B und Cu wirkt sich mäßiger bis schwacher Manganmangel (VR_1 bis VR_3) weniger auf den Frucht- als auf den Sproßertrag auf. Toxische Mangangaben (VR_9) rufen aber auch hier größere Schäden an den generativen als an den vegetativen Pflanzenorganen hervor.

Zink: Im Gegensatz dazu führen toxische Zinkgaben (VR_9) wohl zu einem sichtbaren Ertragsabfall des Sprosses, der etwa demjenigen des Kupferversuches ($VR_8 - VR_9$) entspricht, jedoch bleibt der Fruchtertrag unter den gegebenen Bedingungen unbeeinflusst. Das Sproß-Frucht-Verhältnis erreicht einen Wert von 0,7 und liegt somit bedeutend niedriger als in den VR_9 der übrigen hier gesteigerten Elemente.

Während die Gehalte von N, B, Cu, Mn und Zn in der Pflanzensubstanz mit der Steigerung dieser Elemente im Nährmedium bis zur 1. Ernte von $VR_1 - VR_9$ allgemein zunehmen, kann diese Feststellung zur 2. Ernte nicht oder nur teilweise beobachtet werden.

Stickstoff: Durch gleichbleibende Verwertung des aufgenommenen Stickstoffs, d.h. durch den der Stickstoffaufnahme entsprechenden Ertragszuwachs verändern sich die N-Gehalte von $VR_1 - VR_6$ nur unwesentlich, obwohl die zugeführte Stickstoffmenge/Gefäß von 0 auf 800 mgN gesteigert wurde. Zu einer geringfügigen Stickstoffabnahme kommt es lediglich im Sproß; die Früchte bleiben davon praktisch unbeeinflusst. Ein deutlicher

Anstieg des Stickstoffgehaltes in Sproß und Früchten erfolgt erst ab VR₇.

Bor: Der bei starkem Bormangel recht hohe Borgehalt in den Sprossen von VR₁ bis VR₃ (keine Früchte), der bis VR₄ zusehends abnimmt, ist wohl darauf zurückzuführen, daß das im Nährmedium vorhandene Bor nicht mehr für eine weitere Substanzproduktion ausreichte, jedoch im Laufe der Vegetation ohne Verwertung weiterhin aufgenommen wurde. Die Borgehalte der VR₄ und VR₅ entsprechen etwa dem Grenzwert, bei dem ein fast normales Pflanzenwachstum erwartet werden kann. Gleichzeitig muß aber darauf hingewiesen werden, daß in VR₄ noch starker Bormangel herrschte, und der Sproß- sowie besonders der Frucht-ertrag nur einen Bruchteil des Ertragsmaximums ausmachen. Nach Erreichen des Höchstertragsbereiches (VR₅ - VR₇) nimmt der Borgehalt von VR₆ bis VR₉ sowohl im Sproß als auch in den Früchten beträchtlich zu. Auffallend ist der wesentlich höhere Borgehalt des Sprosses im Vergleich zu den Früchten.

Mangan: Zu ähnlichen Ergebnissen (besonders beim Sproßertrag) führt der Manganversuch, wenn auch nicht so ausgeprägt, da kein starker Manganismangel auftrat. Eine vermehrte Manganaufnahme zeichnet sich von VR₅ (Sproß) bzw. VR₆ (Früchte) nach VR₉ hin ab.

Kupfer und Zink: Der Kupfer- bzw. Zinkgehalt erfährt bei etwa vergleichbaren Erträgen von VR₁ bis VR₄ bzw. VR₅ keine gesicherte Veränderung, wenn man von der Zn-VR₁ absieht, die offensichtlich eine größere Zinkverunreinigung (Drahtnetz: Niederschläge, verwehter Zinkstaub) aufweist. Ein merklicher Anstieg dieser beiden Mikronährstoffe in der Pflanzensubstanz kann erst ab VR₅ (Kupfer) bzw. VR₆ (Zink) beobachtet werden. Die von VR₂ bis VR₄ bzw. VR₅ verabreichten Kupfer- bzw. Zinkgaben haben im großen und ganzen keinen Einfluß auf den Ertrag und den Gehalt dieser Elemente in der Pflanzensubstanz gehabt.

Obwohl Kupfer und Zink in gleichen Mengen verabreicht wurden, bleibt der Kupfergehalt in den Früchten und besonders in den Sprossen weit hinter demjenigen des Zinks zurück.

Allgemein kann festgestellt werden, daß die Sprosse der 2. Ernte durch beträchtlichen Ertragszuwachs größtenteils - besonders bei den hohen bis sehr hohen Nährstoffgaben - wesentlich niedrigere Gehaltswerte der variierten Nährstoffe aufweisen als die der 1. Ernte.

Ausnahmen: N = VR₉, B = VR₁ bis VR₃, Cu = VR₉, Mn = VR₁ bis VR₃, VR₇ und Zn = VR₁, VR₅, in denen die Gehalte der betreffenden Nährstoffe höher liegen. Weiterhin ist bemerkenswert, daß sich der Zinkgehalt in den Sprossen des Zinkversuches von VR₆ bis VR₉ während des zweiten Vegetationsabschnittes nur geringfügig verändert hat.

Die Werte des niedrigsten und höchsten Gehaltes der gesteigerten Nährstoffe innerhalb der Versuchsreihen z. Zt. der 2. Ernte:

<u>Sproß:</u>	VR ₆	4,5 -	92,8 mg	N/g	Tr.S.	VR ₉
	VR ₄	10,0 -	1703,2 ug	B/g	" "	"
	VR ₂	2,2 -	85,5 ug	Cu/g	" "	"
	VR ₄	10,2 -	2166,3 ug	Mn/g	" "	"
	VR ₂	31,8 -	1564,7 ug	Zn/g	" "	"

<u>Früchte:</u>	VR ₃	9,0 -	18,0 mg	N/g	Tr.S.	VR ₉
	VR ₅	3,9 -	241,1 ug	B/g	" "	"
	VR ₁	3,0 -	14,3 ug	Cu/g	" "	"
	VR ₂	3,3 -	306,7 ug	Mn/g	" "	"
	VR ₄	11,7 -	68,5 ug	Zn/g	" "	"

Die Nährstoffgehalte der variierten Elemente in Sproß und Früchten innerhalb des Höchstertragsbereiches:

1. Ernte Sproß:

	21,4 mg	N/g	Tr.S.	(VR ₆)
	48,7 ug	B/g	" "	(VR ₆)
6,2 -	23,9 ug	Cu/g	" "	(VR ₁ - VR ₆)
13,5 -	396,1 ug	Mn/g	" "	(VR ₄ - VR ₇)
23,3 -	107,7 ug	Zn/g	" "	(VR ₃ - VR ₇)

2. Ernte Sproß:

	19,7 mg	N/g	Tr.S.	(VR ₈)
10,8	-165,2 ug	B/g	" "	(VR ₅ - VR ₇)
2,5	- 56,0 ug	Cu/g	" "	(VR ₁ - VR ₈)
10,2	-594,6 ug	Mn/g	" "	(VR ₄ - VR ₇)
31,8	-376,1 ug	Zn/g	" "	(VR ₂ - VR ₈)

2. Ernte Früchte:

	18,0 mg	N/g	Tr.S.	(VR ₈)
3,9	- 13,8 ug	B/g	" "	(VR ₅ - VR ₇)
3,0	- 11,4 ug	Cu/g	" "	(VR ₁ - VR ₈)
7,5	-298,1 ug	Mn/g	" "	(VR ₄ - VR ₇)
21,9	-192,4 ug	Zn/g	" "	(VR ₂ - VR ₈)

Tabelle 9

Der Einfluß sehr hoher N-, B-, Cu-, Mn- und Zn-Gaben auf den Pflanzenenertrag und den Gehalt und den Entzug dieser Nährstoffe (Sandkulturversuch mit Tomaten 1961: 2. Ernte: Sproß + Früchte)

N	B	Cu	Mn	Zn
<u>VR₈</u>				
129,0	61,7	79,7	70,0	77,3 g Tr.S./Gefäß
18,8 ⁺	275,3	33,8	721,5	192,4 mg ⁺ bzw. ug/g Tr.S.
3200	41,0	156,3	466,6	156,3 mg/Gefäß (Düngung)
2424,1 ⁺⁺	16998,8	2695,4	50505,5	14875,4 mg ⁺⁺ bzw. ug/Gef. (Entz.)
75,8	41,5	1,7	10,8	9,5 % Aufn. (Entzug) d. Düngung/Gefäß
<u>VR₉</u>				
1,5	21,6	56,9	12,5	67,5 g Tr.S./Gefäß
92,8 ⁺	1123,3	55,0	1572,2	679,8 mg+bzw. ug/g Tr.S.
6400	163,8	781,3	2799,4	781,3 mg/Gefäß (Düngung)
139,9 ⁺⁺	24308,8	2943,4	19621,6	45910,2 mg ⁺⁺ bzw. ug/Gef. (Entz.)
2,2	14,8	0,4	0,7	5,9 % Aufn. (Entzug) d. Düngung/Gefäß

Die Gehalte der ^{nicht} gesteigerten Nährstoffe (Grunddüngung) zeigen wiederum in der Mehrzahl der Fälle eine Abhängigkeit von der Höhe der Erträge. Bei niedrigen Erträgen erreichen sie höhere Werte und fallen in den Versuchsreihen mit zunehmender Substanzproduktion entsprechend ab. Besonders deutlich kann man diese Veränderungen in den Versuchen von Stickstoff, Bor und Mangan erkennen. Da die Erträge des Kupfer- und Zinkversuches von VR₁ bis VR₈ etwa auf dem gleichen Niveau liegen, dürften die in diesem Bereich auftretenden Gehaltsabweichungen zufällig sein (siehe Tabelle 10 - 19, S. 67 ff).

Verschiebungen in der Nährstoffaufnahme, die offensichtlich nicht nur ertragsbedingt sind, sind nachstehend zusammengestellt.

Die Phosphoraufnahme wird durch sehr hohe Borgaben (VR₉) begünstigt, durch toxische Kupferkonzentrationen (VR₉) erheblich herabgesetzt (s. 1. Ernte). Bei hohen Mangan- und Zinkkonzentrationen im Nährmedium (VR₇ und VR₈) steigt der P-Gehalt und P-Entzug - besonders des Sprosses - mehr oder weniger deutlich an. Der Kaliumgehalt und -entzug liegen in VR₈ und VR₉ (Sproß) des Mangan- sowie in VR₉ des Bor- und Zinkversuches relativ hoch. Die zu der 1. Ernte verhältnismäßig niedrigen Kalziumgehalte in den Stickstoff- und Bormangelreihen (VR₁ bis VR_{3/4}) können auch zur 2. Ernte festgestellt werden. Die Ca-Aufnahme ist offensichtlich bei toxischen Mangan- (VR₉) und besonders bei hohen und sehr hohen Kupfergaben (VR₈ und VR₉ im Sproß) eingeschränkt. Eine verstärkte Bor- und Kupferaufnahme scheint in Mn-VR₉ (Sproß) und in Zn-VR₉ vorzuliegen.

Bei reichlichen bis toxischen Stickstoff- (VR_{7+8/9} Sproß und VR₈ Früchte) bzw. Zinkgaben (VR₉) steigen trotz hoher Erterträge der Kupfergehalt und Kupferentzug an.

Übermäßige Bor- (VR₉ Sproß), Zink- (VR₇ und VR₈) und Kupferernährung (VR₈ und VR₉) begünstigen die Manganaufnahme.

Bei hoher Stickstoffdüngung (VR₇ bis VR₉) sind nicht nur - wie bereits erwähnt - die Cu-, sondern auch die Zinkgehalte und Zinkentzüge (Früchte nur VR₈) enorm. Eine erhöhte Zinkaufnahme kann auch in B-VR₉ (Sproß) beobachtet werden.

Tabelle 10

Tomaten in Sandkultur 1961

N-Steigerungsversuch, 2. Ernte spröb

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. μg -Atom β) und -entzüge (mg bzw. μg /Gefäß)

V.R.	N- mg N/ Gef.	Düng. g Tr. S.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg · Atom %, Tr. S.					µg · Atom %, Tr. S.				
				N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0		0,2	48	27	186	21	23	-	-	-	-	
2	50		1,0	38	20	105	43	37	653	33	502	116	
3	100		2,1	34	19	82	41	30	498	20	464	82	
4	200		4,4	34	17	68	41	26	376	18	361	77	
5	400		10,8	33	15	53	45	18	281	14	290	82	
6	800		24,8	32	12	34	46	13	250	13	181	66	
7	1600		45,0	51	10	13	40	14	237	18	140	93	
8	3200		61,5	141	8	8	46	13	247	26	143	113	
9	6400		1,5	662	18	96	51	24	322	145	182	358	

V.R.	N- mg N/ Gef.	Düng. g Tr. S.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg · Entzug					µg · Entzug				
				N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0		0,2	1,5	1,9	16,4	1,9	1,3	-	-	-	-	
2	50		1,0	5,4	6,3	41,3	17,2	9,0	71,0	21,1	277,7	76,1	
3	100		2,1	10,3	12,4	68,4	35,1	15,5	115,5	26,8	546,2	114,5	
4	200		4,4	21,2	23,6	117,5	72,2	28,0	179,5	51,2	876,8	223,0	
5	400		10,8	49,4	50,9	225,5	195,9	48,3	334,1	96,0	1718,5	580,7	
6	800		24,8	111,4	91,1	329,9	453,8	79,8	671,0	202,6	2468,0	1062,0	
7	1600		45,0	320,2	137,0	225,0	715,1	158,2	1152,3	526,6	3462,5	2735,0	
8	3200		61,5	1212,5	144,3	181,6	1141,2	198,4	1642,4	1019,9	4824,1	4544,6	
9	6400		1,5	139,9	8,6	56,4	31,0	8,8	52,5	138,8	150,4	352,4	

Tabelle 12

Tomaten in Sandkultur 1961

B-Steigerungsversuch, 2. Ernte Späb

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. μg -Atom%) und -entzüge (mg bzw. μg /Gefäß)

V.R.	B- Düng. mg B/g Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg - Atom %, Tr. S.					µg - Atom %, Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	0,2	300	18	144	35	35	169	346	215	271	
2	0,01	0,3	312	18	125	38	34	152	389	275	291	
3	0,04	0,3	290	16	115	35	32	145	303	223	215	
4	0,16	9,6	230	17	117	52	21	93	32	170	86	
5	0,64	39,9	81	12	20	45	17	100	18	160	83	
6	2,56	32,9	58	12	8	50	16	323	15	153	68	
7	10,24	37,2	57	11	10	48	16	1527	18	176	81	
8	40,96	25,5	88	15	16	62	21	5747	19	221	87	
9	163,84	13,1	284	27	124	71	26	15741	36	344	185	

V.R.	B- Düng. mg B/g Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg - Entzug					µg - Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	0,2	9,2	1,2	12,8	3,2	2,0	4,2	50,1	26,9	40,3	
2	0,01	0,3	10,4	1,4	12,1	3,7	2,0	4,1	60,9	37,2	47,0	
3	0,04	0,3	10,4	1,3	11,9	3,8	2,1	4,2	51,1	32,5	37,3	
4	0,16	9,6	309,2	50,3	437,9	199,9	49,2	96,2	195,0	854,6	540,1	
5	0,64	39,9	452,4	146,9	309,0	725,4	168,1	430,6	460,0	3511,2	2168,6	
6	2,56	32,9	266,7	117,3	98,0	654,7	130,6	1147,6	321,5	2757,0	1455,6	
7	10,24	37,2	294,9	122,0	142,9	708,8	148,0	6148,1	435,5	3593,7	1964,7	
8	40,96	25,5	314,2	117,7	156,9	630,6	130,4	15878,9	301,6	3095,2	1460,2	
9	163,84	13,1	519,9	109,5	632,5	369,7	81,9	22240,0	298,9	2468,5	1581,5	

Tabelle 13

Tomaten in Sandkultur 1961

B-Steigerungsversuch, 2. Ernte Früchte

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. µg-Atom%) und -entzüge (mg bzw. µg/GefäßB)

V.R.	B-Düng. mg B/ Gef.	Ertrag/Gef. g. Tr. S.	mg - Atom-%, Tr. S.					µg - Atom-%, Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	0,16	1,7	275	22	122	4,0	10,9	49	28	41	53	
5	0,64	33,3	110	14	57	2,5	5,1	36	12	22	25	
6	2,56	38,9	92	13	49	2,6	4,2	83	11	21	23	
7	10,24	40,1	95	13	51	2,3	4,3	127	12	22	29	
8	40,96	36,2	113	15	56	2,6	4,9	286	13	25	23	
9	163,84	8,6	195	20	113	4,7	8,6	2228	11	34	22	

V.R.	B-Düng. mg B/ Gef.	Ertrag/Gef. g. Tr. S.	mg - Entzug					µg - Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	0,16	1,7	63,8	11,1	78,8	2,7	4,4	8,8	29,4	37,0	57,2	
5	0,64	33,3	511,0	138,8	741,8	33,8	41,4	128,7	252,9	407,5	539,9	
6	2,56	38,9	502,2	153,8	739,1	40,4	40,0	348,8	262,9	455,4	578,5	
7	10,24	40,1	532,0	160,3	797,0	37,3	41,8	551,9	308,8	480,2	770,9	
8	40,96	36,2	517,2	164,1	793,3	37,3	43,3	1119,9	292,7	487,2	550,2	
9	163,84	8,6	234,2	53,9	379,5	16,3	18,0	2068,8	57,3	160,9	124,7	

Tabelle 14

Tomaten in Sandkultur 1961

Cu-Steigerungsversuch, 2. Ernte spröb

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. $\mu\text{g-Atom}^{\circ}/\text{g}$) und -entzüge (mg bzw. $\mu\text{g/Gef}^{\circ}/\text{g}$)

V.R.	Cu- Düng. mg Cu/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg- Atom %, Tr. S.					µg- Atom %, Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	36,3	67	10	8	48	17	300	4	187	86	
2	0,01	33,9	66	11	9	49	17	293	3	200	100	
3	0,05	40,1	60	11	10	46	15	272	4	184	122	
4	0,25	37,7	62	11	10	47	16	283	4	186	83	
5	1,25	40,1	60	11	9	45	15	277	7	176	77	
6	6,25	31,5	65	13	10	51	17	316	16	193	98	
7	31,25	36,6	55	12	10	45	18	317	49	211	87	
8	156,25	40,0	66	13	17	37	16	299	81	219	83	
9	781,25	29,9	85	8	29	26	15	310	135	245	94	
V.R.	Cu- Düng. mg Cu/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg- Entzug					µg- Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	36,3	338,7	116,2	119,5	692,5	146,5	1179,6	91,7	3726,9	2046,7	
2	0,01	33,9	315,2	114,1	123,6	662,2	143,1	1074,0	74,4	3827,8	2220,2	
3	0,05	40,1	335,0	135,6	161,2	734,7	149,9	1180,9	89,4	4051,1	1928,1	
4	0,25	37,7	325,7	128,9	154,4	708,5	145,7	1174,3	85,5	3851,1	2170,2	
5	1,25	40,1	334,6	130,8	144,7	717,0	144,7	1202,1	182,8	3874,3	2016,4	
6	6,25	31,5	286,9	122,9	126,7	641,6	128,3	1074,8	315,5	3332,8	2006,2	
7	31,25	36,6	281,6	133,6	137,5	655,1	157,5	1256,6	1149,7	4240,9	2074,5	
8	156,25	40,0	369,2	157,5	262,6	589,5	156,8	1296,1	2242,7	4824,9	2162,4	
9	781,25	29,9	354,6	70,5	334,0	316,7	109,1	1003,5	2558,7	4036,0	1835,5	

Tomaten in Sandkultur 1961

Cu-Steigerungsversuch, 2. Ernte Früchte

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. μg -Atom%) und -entzüge (mg bzw. μg /Gefäß)

V.R.	Cu-Düng. mg Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Atom % Tr.S.				µg-Atom % Tr.S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn
1	0,00	43,2	104	12	54	2,8	3,8	48	4,8	20	25
2	0,01	40,0	103	12	56	2,9	3,9	59	6,2	21	24
3	0,05	39,0	98	12	58	2,8	3,8	57	5,6	19	27
4	0,25	38,4	98	13	57	2,9	4,2	50	6,6	19	23
5	1,25	38,4	98	13	56	2,8	3,9	58	8,5	19	22
6	6,25	37,1	101	13	57	2,9	4,2	64	11,4	20	22
7	31,25	43,7	100	13	56	2,6	4,1	51	14,2	22	21
8	156,25	39,7	105	13	60	2,5	3,8	70	17,9	34	21
9	781,25	27,0	132	11	65	2,4	4,6	90	22,4	37	25
V.R.	Cu-Düng. mg Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Entzug				Mg	µg-Entzug			
			N	P	K	Ca		B	Cu	Mn	Zn
1	0,00	43,2	630,4	163,7	909,0	49,3	39,7	223,4	130,6	470,5	709,9
2	0,01	40,0	579,1	151,9	884,1	46,5	38,1	256,8	157,4	459,7	621,0
3	0,05	39,0	535,5	148,3	878,9	44,6	36,0	238,3	138,6	404,7	580,2
4	0,25	38,4	527,3	150,4	855,3	44,3	38,6	206,5	161,4	410,6	588,1
5	1,25	38,4	525,6	152,9	833,9	43,9	36,6	240,0	208,3	398,7	552,0
6	6,25	37,1	526,4	151,0	827,1	42,9	37,9	257,8	267,5	402,0	536,5
7	31,25	43,7	612,8	176,6	955,9	46,2	43,9	238,8	394,4	535,7	614,7
8	156,25	39,7	583,8	154,2	927,2	40,3	34,9	302,3	450,7	748,4	537,2
9	781,25	27,0	499,0	91,8	684,0	25,7	29,9	263,1	384,8	544,4	443,5

Tabelle 16

Tomaten in Sandkultur 1961

Mn-Steigerungsversuch, 2. Ernte Sproß

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. μg -Atom%) und -entzüge (mg bzw. μg /Gefäß)

V.R.	Min- Düng mg N/R/Gef.	Ertrag/Gef g Tr. S.	mg- Atom %, Tr. S.					µg- Atom %, Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	18,4	119	10	23	74	26	449	28	25	89	
2	0,01	20,3	101	10	18	66	24	405	26	21	85	
3	0,06	29,6	68	8	10	54	19	324	21	21	80	
4	0,36	35,8	68	7	8	46	16	271	17	18	62	
5	2,16	38,2	63	7	9	44	15	244	16	34	62	
6	12,96	37,5	62	7	11	42	14	236	15	131	57	
7	77,76	36,3	65	12	9	46	16	263	14	1082	60	
8	466,56	34,3	82	15	21	46	17	304	20	2514	77	
9	2799,36	8,5	282	22	130	32	20	511	31	3943	67	

V.R.	Min- Düng mg N/R/Gef.	Ertrag/Gef g Tr. S.	mg- Entzug					µg- Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	18,4	306,3	59,7	165,9	548,5	117,9	894,0	331,1	294,9	1067,4	
2	0,01	20,3	286,1	64,0	146,0	538,8	116,7	889,4	338,5	239,2	1131,2	
3	0,06	29,6	282,5	71,7	114,9	635,5	140,2	1038,2	386,9	335,5	1548,8	
4	0,36	35,8	342,0	78,2	115,0	656,2	139,9	1051,0	388,0	363,5	1451,8	
5	2,16	38,2	337,2	82,2	133,3	674,4	137,3	1008,7	396,6	706,9	1545,4	
6	12,96	37,5	323,7	85,5	164,4	625,4	125,1	956,9	346,5	2698,8	1402,9	
7	77,76	36,3	332,2	134,7	126,5	662,9	140,2	1033,7	328,4	21560,0	1431,0	
8	466,56	34,3	395,4	164,1	282,2	627,8	145,8	1130,4	444,1	47409,1	1719,9	
9	2799,36	8,5	335,5	56,8	430,6	108,5	40,5	469,1	166,9	18397,5	374,7	

Tabelle 17
Tomaten in Sandkultur 1961
Mn-Steigerungsversuch, 2. Ernte Früchte
Mineralstoffgehalte (mg- bzw. μg -Atom%) und -entzüge (mg bzw. μg /Gefäß)

V.R.	Mn- mg Düng. in Mn/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Atom % Tr. S.					μg -Atom % Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	28,0	149	13	76	3,9	6,8	110	15	6,7	31	
2	0,01	28,0	140	13	70	3,1	7,6	95	13	6,0	29	
3	0,06	36,3	108	12	59	2,5	4,7	70	12	7,2	25	
4	0,36	38,8	103	12	57	2,6	4,5	66	11	9,1	22	
5	2,16	37,9	99	11	56	2,6	4,2	65	11	14,1	21	
6	12,96	34,6	99	12	54	2,4	4,3	61	11	15,2	19	
7	77,76	39,7	86	13	55	2,5	3,9	57	10	49,6	18	
8	466,56	35,7	88	13	57	2,3	4,3	74	10	158,0	19	
9	2799,36	4,0	186	19	82	2,0	3,5	86	12	558,3	25	
V.R.	Mn- mg Düng. in Mn/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Entzug					μg -Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	28,0	585,9	110,0	830,8	43,4	46,4	333,2	259,4	102,6	566,4	
2	0,01	28,0	550,3	111,1	761,0	34,9	51,5	289,0	237,2	92,5	539,2	
3	0,06	36,3	550,2	131,7	830,5	35,7	41,7	273,2	266,8	142,8	601,3	
4	0,36	38,8	561,1	141,1	861,4	40,7	42,3	274,9	269,3	194,4	547,0	
5	2,16	37,9	524,2	132,4	829,5	39,9	39,1	265,8	269,8	294,7	508,4	
6	12,96	34,6	481,2	125,1	731,0	33,6	36,1	227,9	232,6	289,1	431,9	
7	77,76	39,7	478,4	155,5	848,3	39,7	37,7	245,4	246,6	1080,0	476,3	
8	466,56	35,7	440,2	139,7	795,7	32,4	37,8	286,3	233,1	3096,4	441,3	
9	2799,36	4,0	104,2	23,0	128,4	3,1	3,3	37,1	30,6	1224,1	64,6	

Tabelle 18

Tomaten in Sandkultur 1961

Zn-Steigerungsversuch, 2. Ernte spieß

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. $\mu\text{g-Atom}\%$) und -entzüge (mg bzw. $\mu\text{g/Gefäß}$)

V.R.	Zn-Düng. mg Zn/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Atom % Tr. S.					$\mu\text{g-Atom}\%$ Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	37,1	56	10	9	45	16	284	10	158	132	
2	0,01	33,3	62	11	7	50	20	305	15	166	49	
3	0,05	38,1	59	10	9	43	17	265	14	151	52	
4	0,25	40,0	53	10	9	42	15	251	14	149	55	
5	1,25	36,3	50	10	8	46	17	296	14	150	56	
6	6,25	32,7	57	11	9	48	16	293	14	154	78	
7	31,25	38,2	55	13	9	46	16	314	15	183	103	
8	156,25	36,6	62	14	9	43	15	297	17	231	575	
9	781,25	27,6	105	13	23	54	19	465	28	209	2392	
V.R.	Zn-Düng. mg Zn/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Entzug					$\mu\text{g-Entzug}$				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	37,1	290,6	114,1	129,3	669,9	143,7	1137,3	388,3	3221,2	3190,6	
2	0,01	33,3	291,2	109,8	97,1	663,5	163,8	1101,1	327,1	3045,5	1060,8	
3	0,05	38,1	316,6	120,1	133,4	654,9	154,7	1090,1	328,7	3162,2	1290,0	
4	0,25	40,0	297,0	123,1	143,4	674,6	146,0	1089,2	347,1	3284,1	1450,7	
5	1,25	36,3	253,7	112,2	116,9	663,1	147,6	1162,6	322,0	2997,4	1333,5	
6	6,25	32,7	261,6	111,1	119,9	632,3	128,5	1037,7	285,2	2761,8	1664,1	
7	31,25	38,2	292,7	154,4	133,5	707,5	146,7	1299,7	359,0	3851,2	4081,9	
8	156,25	36,6	318,9	154,7	127,1	627,8	137,4	1174,1	384,0	4639,5	13751,7	
9	781,25	27,6	407,2	107,7	251,7	594,5	127,9	1388,2	496,2	3166,8	43175,5	

Tabelle 19
Tomaten in Sandkultur 1961
Zn-Steigerungsversuch, 2. Ernte Früchte

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. μg -Atom%) und -entzüge (mg bzw. μg /Gefäß)

V.R.	Zn- mg $\frac{\text{Düng.}}{\text{Gef.}}$	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg - Atom % Tr. S.					μg - Atom % Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	39,2	94	12	51	2,6	5,2	64	11	18	25,5	
2	0,01	41,6	104	12	53	2,4	5,7	74	11	21	19,2	
3	0,05	38,0	99	12	53	2,6	5,3	77	11	22	18,5	
4	0,25	37,8	95	12	53	2,4	5,1	64	10	22	17,9	
5	1,25	39,9	99	11	52	2,3	4,7	67	11	22	19,0	
6	6,25	37,4	94	12	53	2,5	4,3	77	10	23	22,4	
7	31,25	38,1	96	13	53	2,4	4,4	67	11	25	27,7	
8	156,25	40,8	96	13	54	2,5	4,2	59	12	31	42,2	
9	781,25	40,0	112	13	63	3,3	3,7	98	14	28	104,7	
V.R.	Zn- mg $\frac{\text{Düng.}}{\text{Gef.}}$	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg - Entzug					μg - Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	39,2	516,4	144,4	784,9	40,5	49,4	270,1	268,1	380,3	653,3	
2	0,01	41,6	603,2	154,9	855,0	39,3	57,7	333,5	283,0	490,3	520,7	
3	0,05	38,0	524,3	144,1	793,5	39,3	49,1	317,2	261,0	450,4	459,4	
4	0,25	37,8	504,9	138,2	776,9	36,7	47,3	263,0	237,6	447,9	443,6	
5	1,25	39,9	554,3	139,0	815,9	36,9	45,9	291,1	271,4	487,1	495,7	
6	6,25	37,4	491,9	137,4	771,6	37,0	39,4	311,3	241,9	479,6	548,6	
7	31,25	38,1	512,5	147,6	790,5	37,0	40,9	274,1	268,6	531,0	689,1	
8	156,25	40,8	549,6	168,4	861,3	40,5	41,3	260,3	317,2	700,2	1123,7	
9	781,25	40,0	626,4	162,8	990,0	52,7	35,4	424,9	358,2	621,1	2734,7	

Anzahl der Früchte pro Pflanze und Gewicht pro Frucht in g Tr. S.

Jün- gung	VR ₁	VR ₂	VR ₃	VR ₄	VR ₅	VR ₆	VR ₇	VR ₈	VR ₉
N	- -	1,00 1,02	1,25 1,37	1,75 2,07	4,00 1,81	7,25 2,15	12,25 3,07	35,50 1,90	- - g/Tr.
B	- -	- -	- -	0,50 3,31	10,50 3,17	16,00 2,43	16,75 2,39	13,75 2,63	10,00 AZ. 0,80g/Tr.
Cu	20,50 2,11	15,75 2,56	15,50 2,52	15,25 2,51	16,75 2,29	15,75 2,36	16,25 2,69	19,25 2,06	14,00 AZ. 1,93g/Tr.
Mn	15,00 1,87	13,50 2,07	14,25 2,55	16,75 2,33	15,75 2,41	13,75 2,52	15,75 2,52	14,50 2,46	2,50 AZ. 1,60g/Tr.
Zn	16,75 2,34	16,25 2,56	14,75 2,57	15,25 2,48	13,50 2,95	12,75 2,94	13,50 2,82	15,75 2,59	22,25 AZ. 1,80g/Tr.

Wurzel-Gewichte lufttrocken in g

Sandkultur 2. Ernte Tomaten:

	VR ₁	VR ₂	VR ₃	VR ₄	VR ₅	VR ₆	VR ₇	VR ₈	VR ₉
N	0,13	0,28	0,53	0,86	1,51	2,58	3,24	4,05	0,24
B	0,10	0,10	0,13	0,48	3,29	3,39	3,96	2,26	0,74
Cu	3,86	3,41	3,95	3,34	3,36	2,96	3,45	3,31	2,58
Mn	1,85	1,69	2,70	3,06	3,49	3,55	3,56	3,98	0,63
Zn	4,08	3,10	3,74	4,05	3,44	3,14	3,56	3,66	3,34

pH-Werte der einzelnen Kulturen bei Versuchsende

Sandkultur Tomaten:

	VR ₁	VR ₂	VR ₃	VR ₄	VR ₅	VR ₆	VR ₇	VR ₈	VR ₉
N	9,2	9,3	9,3	9,2	8,9	8,9	8,8	7,6	7,0
B	8,3	7,8	8,4	8,5	8,7	8,8	8,5	8,8	8,6
Cu	8,5	8,5	8,4	8,8	8,6	8,8	8,5	7,4	7,1
Mn	8,6	8,7	8,6	8,4	8,4	8,5	8,7	8,0	7,2
Zn	8,8	8,9	8,7	8,8	8,7	8,8	8,7	7,9	7,3

2. PVC-Kulturversuch 1962

a) Methodik und Versuchsbedingungen

Nach den Sand- und Wasserkulturversuchen 1961 wurden im Jahre 1962 weitere Versuche mit Tomaten durchgeführt. Hierzu bot sich Polyvinylchlorid (PVC) als ein sehr nährstoffarmes synthetisches Material an. Dieser Kunststoff wurde in Pulverform von der Badischen Anilin- und Soda-Fabrik in Ludwigshafen/Rhein bezogen.

Am 25.4.1962 wurden die Vorbereitungen zur Anzucht der dafür benötigten Tomatenpflanzen getroffen. Als Tomatensorte kam auch in diesem Versuchsjahr "Bonner Beste" zum Anbau. Die Aussaat erfolgte am 26.4.1962 zu je drei Samen in paraffinierten Papierbechern, die mit einem Gemisch aus PVC und gereinigtem Hirschauer Quarzsand (s. Sandkulturversuch S. 35) unter Hinzugabe einer bestimmten Nährstoffmenge gefüllt waren. Anschließend wurden die Gefäße mit dem gleichen Sand abgedeckt. Das PVC-Sand-Gemisch für die Anzucht setzte sich wie folgt zusammen:

12 kg PVC + 36 kg Quarzsand + 7130 ml H₂O dest.^x

Nährstoffe in fester Form

14,0 g	CaCO ₃	DAB 6
3,5 g	MgCO ₃	p.a.
10,1 g	CaHPO ₄	2 H ₂ O DAB 6
10,0 g	NH ₄ NO ₃	p.a.
4,1 g	KCl	p.a.
5,0 g	K ₂ SO ₄	p.a.

Nährstoffe in gelöster Form

580,0 mg	Fe-Chelat (12% Fe)	
268,0 mg	MnSO ₄	. H ₂ O p.a.
75,0 mg	H ₃ BO ₃	p.a.
0,9 mg	Na ₂ MoO ₄	. 2 H ₂ O p.a.

(^x = einschließlich des wassers, das mit den gelösten Nährstoffen zugegeben wurde.)

Die abgewogenen Mengen von PVC und Sand wurden in einer Kunststoffwanne gut mit den festen Nährstoffmengen gemischt. Danach wurden die gelösten Nährstoffe und die restliche Wassermenge in mehreren Portionen unter fortwährendem Durcharbeiten des Substrates hinzugegeben und dieses Gemisch zwischen den Händen zerrieben, bis eine geeignete Krümelung entstanden war.

Bei dieser Arbeit und beim Ansetzen der Versuchsgefäße wurden Gummihandschuhe verwendet.

Die Tomatensamen keimten gut, jedoch entwickelten sich die Pflänzchen in der folgenden Zeit recht schlecht, was vermutlich überwiegend auf die zu dieser Zeit niedrigen Temperaturen im Glashaus zurückzuführen war.

Mit dem Ansetzen der Versuchsgefäße (normale Mitscherlich-Gefäße) wurde am 7.5.1962 begonnen. Hierzu wurden je Gefäß 2750 g PVC mit 900 ml Wasser in drei etwa gleichgroßen Portionen und den Grundnährstoffen - ohne die zu steigernden Elemente - gut gemischt und gekrümelt (s.oben) und in die mit geeigneten Plastiktüten ausgekleideten Mitscherlich-Gefäße eingefüllt, die schließlich zur Vermeidung von Verschmutzung und stärkerer Wasserverdunstung mit den dazu gehörenden Schalen bis zu Versuchsbeginn abgedeckt wurden.

Die Grunddüngung je Gefäß setzte sich wie folgt zusammen:

0,50 g N als NH_4NO_3 p.a.
0,75 g K_2O als KCl u. K_2SO_4 p.a.
0,60 g P_2O_5 als $\text{CaHPO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ DAB 6
2,50 g CaCO_3 als DAB 6
0,50 g MgCO_3 p.a.

15,0 mg Fe als Fe-chelat (12%)
9,0 mg Mn als $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ p.a.
4,5 mg Cu als $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ p.a.
4,5 mg Zn als $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ p.a.
3,0 mg B als H_3BO_3 p.a.
0,3 mg Mo als $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ p.a.

Der im Versuch variierte Nährstoff wurde jeweils in der betreffenden Grunddüngung weggelassen. In der nachfolgenden Tabelle sind die Nährstoffsteigerungen des PVC-Versuchs von 1962 zusammengestellt:

VR mg pro Gefäß	1	2	3	4	5	6	7	8
N	0	37,50	75	150	300	600	1200	2400
B	0	0,0075	0,0300	0,12	0,48	1,92	7,68	30,72
Cu	0	0,0075	0,0375	0,19	0,94	4,69	23,44	117,19
Mn	0	0,0075	0,0450	0,27	1,62	9,72	58,32	349,92
Zn	0	0,0075	0,0375	0,19	0,94	4,69	23,44	117,19

Ursprünglich hatten die PVC-Versuche ebenso wie die Sand- und Wasserkulturversuche 9 Steigerungsstufen. Da die Konzentration aller hier gesteigerten Elemente in den Versuchsreihen 9 zum sofortigen Absterben der Pflanzen und daher zu keinem Ertrag führten, blieben die entsprechenden Nährstoffgaben in der obigen Tabelle unberücksichtigt.

Die Gefäße des Stickstoffversuches erhielten zur Nachdüngung

am 24. und 31.7.1962 je: $0,38 \text{ g K}_2\text{O}$ }
 $0,29 \text{ g P}_2\text{O}_5$ } als KH_2PO_4 p.a.

und am 24.8.1962 $0,54 \text{ g K}_2\text{O}$ }
 $0,41 \text{ g P}_2\text{O}_5$ } als KH_2PO_4 p.a.

Die Nachdüngung der Gefäße der Mikronährstoffversuche erfolgte am: 20. und 27.7.1962 jeweils mit

$0,25 \text{ g N}$ als NH_4NO_3 p.a.

$0,38 \text{ g K}_2\text{O}$ }
 $0,29 \text{ g P}_2\text{O}_5$ } als KH_2PO_4 p.a.

und am 24.8.1962 mit 0,40 g N als NH_4NO_3 p.a.
 0,54 g K_2O)
 0,41 g P_2O_5) als KH_2PO_4 p.a.

Die angegebenen Nährstoffmengen wurden in 100 ml H_2O dest. gelöst und gleichmäßig über die Oberfläche verteilt.

Am 8.Juni 1962 erfolgte die Umpflanzung der Tomaten in die vorbereiteten Versuchsgefäße, die am 7.Juni 1962 die gesteigerten Nährstoffgaben (s.Seite 81) in 100 ml Lösung erhalten hatten.Dazu wurden die Tomatenpflänzchen gründlich von ihrem Anzuchtsubstrat durch Wässern und Abspülen befreit und vorsichtig mit einigen ml Wasser "eingeschlämmt", um ein Zerfließen des gekrümelten PVC zu vermeiden. Nachdem sich die Pflanzen in den folgenden Tagen den neuen Wachstumsbedingungen angepaßt hatten und durch die günstige Witterung eine rasch fortschreitende Wachstumsentwicklung erkennen ließ, wurden die Oberflächen der Gefäße mit einer dünnen Schicht zylinderförmiger Körnchen (ca. 1,5 x 2,5 mm) aus Polystyrol abgedeckt, um die Wasserzugabe, die morgens und abends erfolgte, günstiger zu gestalten (Verschlammungsgefahr).

b) Wachstumsbeobachtungen (FVC-Kultur mit Tomaten 1962)

Die am 8.6.1962 in die Versuchsgefäße eingesetzten Tomatenpflanzen entwickeln sich in der Folgezeit durch günstige Wachstumsbedingungen zusehends. Eine Ausnahme macht - wie schon an anderer Stelle erwähnt - die gesamte Stickstoffreihe.

Stickstoff:

Die Pflanzen machen allgemein einen schlechten Eindruck und leiden offensichtlich unter Chlorose. Die Symptome treten an jungen und jüngsten Blättern auf. In den VR₇₋₉ - bei hohen bis toxischen N-Gaben von 1200 bis 4800 mgN/Gefäß - gehen wiederholt die Tomaten ein, die immer wieder nachgepflanzt werden. Während diese Bemühungen in VR₇ und VR₈ Erfolg bringen, fällt VR₉ völlig aus. Erst nach einer Dauer von ca. 3 Wochen erholt sich der gesamte Versuch merklich und zeigt trotz der vorangegangenen allgemeinen Wachstumsstörungen am 23.7.1962 eine relativ gleichmäßige Entwicklung innerhalb der einzelnen Stickstoffversuchsreihen. Der ersten Ernte vom 18.7.1962 (Sproß) kommt die Bedeutung einer gewissen Korrektur zu: Es wurde darauf geachtet, für die zweite Ernte einen möglichst gleichmäßigen Bestand stehen zu lassen.

Der Stickstoffmangel erstreckt sich zu diesem Zeitpunkt in abgestufter Ausmaße bis zur VR₅ (0 bis 300 mgN/Gefäß). VR₆ (600 mgN/Gefäß) weist den besten Pflanzenwuchs auf. In VR₇ und VR₈ (1200 und 2400 mgN/Gefäß) machen sich zunehmend Depressionen bemerkbar. Die in VR₇ durch die hohe Stickstoffgabe verursachten Wachstumsstörungen wachsen sich schließlich aus, und die Pflanzen dieser Gefäße erbringen am Versuchsende am 1.10.1962 den Höchstertrag an Sproß und Früchten.

Bor:

Am 18.6.1962 treten in VR₁ (ohne zusätzlichem Bor) schwache Bormangelercheinungen auf. Die Pflanzen der VR₃ und VR₉ (30,72 und 122,88 mgB/Gefäß) leiden unter stärkeren Wachstumsdepressionen, die zum Absterben aller Pflanzen in VR₉ führen (was für alle VR₉ des gesamten PVO-Kulturversuches zutrifft). Da die eingesetzten Pflanzen schon nach kurzer Zeit zugrunde gingen und keine ausreichenden Substanzmengen vorlagen, wurde von einer Untersuchung und Auswertung der höchsten Steigerungsstufe (VR₉) allgemein abgesehen.

Bis zum 6.7.1962 hat sich der Bormangel bis VR₃ (0,03 mgB/Gefäß) ausgebreitet: Starke Wachstumsstörungen, Absterben des Wachstumskegels, Seitentriebbildung, Glasigkeit der gesamten Pflanze, Deformierungen der Blätter, Blatttrandvergilbungen; in der Anlage entwickelte Blüten kommen nicht zur Entfaltung, gehen schließlich zugrunde und fallen ab. In VR₃ treten diese Symptome in abgeschwächter Form auf, die Pflanzen blühen, setzen jedoch keine Früchte an. Nach etwa 3 Wochen (23.7.1962) werden Bormangelercheinungen auch in VR₄ (0,12 mgB/Gefäß) sichtbar: Es kommt in dieser Versuchreihe wohl noch zu einer sehr schwachen Ausbildung von Tomatenfrüchten, die jedoch deformiert, schorfig und rissig sind. Gegen Ende der Versuchsdauer scheinen auch die Pflanzen der VR₅ (0,48 mgB/Gefäß) - wenn auch nur in geringem Ausmaße - unter Bormangel zu leiden: deutlich niedriger Fruchtertrag bei gleichzeitig vereinzelter Auftreten von Schorfigkeit. Die Pflanzen der VR₆ (1,92 mgB/Gefäß) gedeihen am besten und zeigen auch den gesündesten Aufwuchs.

Während zu Beginn des Versuches nur in VR₃ (30,72 mgB/Gefäß) stärkere Wachstumsdepressionen und Schädigungen des Pflanzengewebes durch toxische Borgaben zum Vorschein kommen, werden nach gewisser Zeit auch die Pflanzen der VR₇ (7,68 mgB/Gefäß) unter Abschwächung davon betroffen: Aufhellung der gesamten Pflanze, gehemmter Wuchs, von den Blattspitzen her geringe Erschlaffung der Blätter, braune Flecken (Nekro-

sen), besonders an den älteren Blättern (Blattränder), die im weiteren Verlauf zu einem vorzeitigen Absterben und Abfallen dieser Pflanzenteile führen. In VR₈ sind diese toxischen Erscheinungen sogar an den Kelchblättern der Tomatenfrüchte zu erkennen. Die Früchte sehen äußerlich gesund aus, weisen aber bei erhöhtem Fruchtansatz eine geringere Größe auf. Gleichzeitig ist ein Ertragsabfall damit verbunden.

Kupfer:

10 Tage nach Versuchsbeginn (18.6.1962) sind von VR₁ bis VR₇ (0 bis 23,44 mgCu/Gefäß) keine äußerlich sichtbaren Unterschiede in der Entwicklung der Pflanzen zu erkennen. Ab VR₈ (117,19 mgCu/Gefäß) kommt es zu starken Wachstumsdepressionen unter gleichzeitigem Auftreten chlorotischer Erscheinungen (Aufhellung der gesamten Pflanze bis zu einem gelben Farbton), die zum Absterben der Pflanzen in VR₉ und teilweise in VR₈ führen. VR₈ wird im Gegensatz zu VR₉ erfolgreich nachgepflanzt. Aber auch diese Pflanzen sterben bis auf eine, deren Blätter größtenteils nach unten gerollt sind, zwischen der ersten und der zweiten Ernte ab, so daß praktisch hier auch die VR₈ ausfällt.

Vom 25.6.1962 an kann ein Wachstumsanstieg von VR₁ bis VR₇ beobachtet werden, der bis zur ersten Ernte (Sproß) immer deutlicher in Erscheinung tritt; allerdings sind die Unterschiede zwischen VR₁ und VR₄ (0 bis 0,19 mgCu/Gefäß) kaum feststellbar. In diesen Kupferdungsstufen sind gewisse Blühverzögerungen, besonders in VR₁ ohne zusätzlichem Kupfer, zu erkennen. Im allgemeinen blüht am 13.7.1962 der erste Fruchttrieb. Die gesamten Pflanzen des Kupferversuches fallen unter anderem gegenüber allen anderen Versuchen der rVC-Kultur durch eine intensivere Grünfärbung auf, die auch noch am Versuchsende (1.10.1962) von VR₁ bis VR₅ (0 bis 0,94 mgCu/Gefäß) in abgeschwächter Form erhalten bleibt und mit einem allgemeinen höheren Ertragsniveau einhergeht.

Mangan:

Ähnlich wie beim Kupferversuch kommt es auch beim Manganversuch anfänglich nicht zu Mangelercheinungen, und die Pflanzen der VR₁ bis VR₇ (0,0 bis 58,32 mgMn/Gefäß) zeigen ziemlich einheitliches Aussehen. Mangangaben von 349,92 mg Mn/Gefäß und darüber führen zu bedeutenden Wachstumshemmungen und Chlorosen: Teilweise stärkere Aufhellungen (gelb/weiß bis grün/weiß) vom Blattrand her; die Blattrippen behalten jedoch ihre dunkelgrüne Farbe; in VR₉ gehen 7 von 8 Pflanzen zugrunde, ein Nachpflanzen bleibt ohne Erfolg. Manganmangelsymptome können erst - zunächst ohne Ertragsbeeinflussung - ab 6.7.1962 in den Gefäßen der VR₁ und VR₂ (0 und 0,0075 mgMn/Gefäß) beobachtet werden: Geringe Aufhellung der Pflanzen (Marmorierung hellgrün/dunkelgrün) und braune bis dunkelbraune Flecken auf älteren Blättern. Diese Symptome verstärken sich in der folgenden Zeit und dringen bis einschließlich VR₄ (0,27 mgMn/Gefäß) vor. Bei relativ geringen Wachstumsunterschieden, scheinen sich die Pflanzen von VR₄ (später von VR₅) bis VR₇ am günstigsten zu entwickeln. Die anfänglich starken chlorotischen Blattverfärbungen in VR₈ gehen im Laufe der Vegetationszeit zurück, jedoch leiden die Pflanzen weiterhin erheblich unter den toxisch wirkenden Mangankonzentrationen: U.a. sind die Blätter welk und deformiert und rollen sich nach oben oder nach unten ein; über Stengel, Blattstiele und Blätter haben sich größere braune Flecken ausgebreitet. Blüh- und Reifeverzögerungen sind ebenfalls hervorstechende Merkmale von Manganüberschuß.

Zink:

In VR₁ (ohne zusätzlichem Zink) wird am 18.6.1962 Zinkmangel ersichtlich: Die Pflanzen bleiben im Wachstum zurück; die Blätter sind allgemein weniger in sich gekrümmt und daher fast ganz platt (plan) im Gegensatz zu den ausreichend mit Zink versorgten; die Blätter erscheinen anfangs in einem dunkleren Grün (schmutziges Graugrün) und

weisen später eine schwache Marmorierung auf. Der Zinkmangel kommt bis zur ersten Ernte am 18.7.1962 noch deutlicher zum Vorschein und führt auch in VR₂ (0,0075 mgZn/Gefäß) zu einem geringeren Ertrag. Das Ertragsoptimum liegt in diesem Wachstumsabschnitt zwischen den VR₃ und VR₅ (0,04 bis 0,94 mgZn/Gefäß), während ab VR₆ bis VR₈ (4,69 bis 117,19 mgZn/Gefäß) zunehmend Depressionserscheinungen festgestellt werden können: Die jüngeren und teilweise die älteren Blätter sind stärker eingerollt; die Pflanzen bleiben in der Entwicklung zurück und wirken dunkelgrüner; Blühverzögerungen machen sich bemerkbar; der Anteil der unreifen Früchte ist in diesen Versuchsreihen zur Erntezeit am 1.10.1962 besonders hoch.

In VR₉ (585,94 mgZn/Gefäß) sterben die Tomatenpflanzen wie in den anderen PVC-Versuchen ab.

Sowohl die Mangel- als auch die Überschußsymptome schwächen sich in den folgenden Tagen und Wochen unter vermehrter Substanzbildung merklich ab, so daß am Ende des Versuches keine gesicherten Ertragsunterschiede zwischen den einzelnen Zinksteigerungsstufen mehr festgestellt werden können.

c) Versuchsergebnisse:

Ertrag, Nährstoffgehalt und Nährstoffentzug

Die Ernte erfolgte ähnlich wie bei allen Tomatenversuchen (Sand- und Wasserkulturversuche 1961) zu zwei verschiedenen Zeitpunkten und bestand zum ersten Termin (18.7.1962) nur aus dem Sproß, während zum zweiten Termin (1.10.1962) Sproß und Früchte geerntet wurden.

Im folgenden wird u.a. versucht, die erzielten Resultate mit denen des Sandkulturversuches zu vergleichen, da beide Versuche in ihrer Grundkonzeption gewisse Übereinstimmungen zeigten.

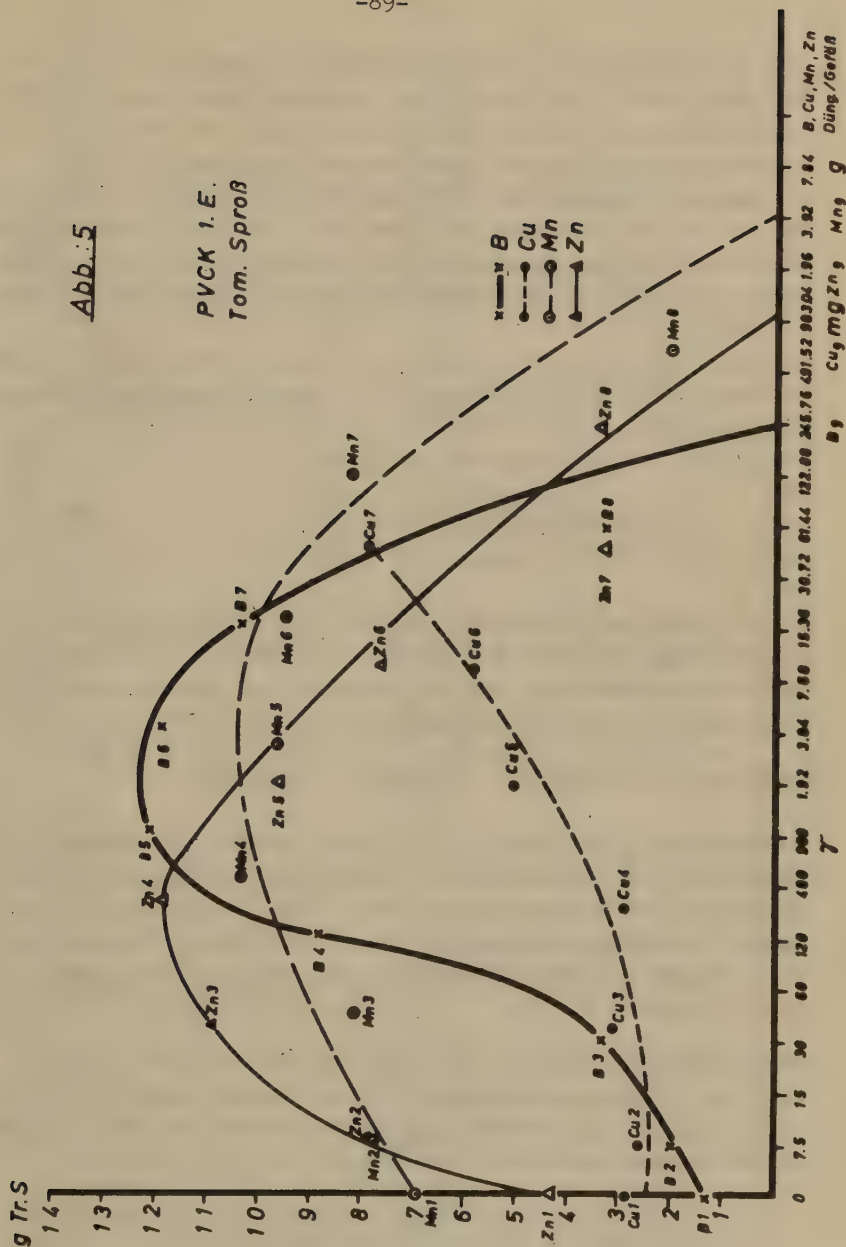
1.Ernte

Wie schon an anderer Stelle erwähnt, entwickelte sich der Stickstoffversuch zumindest bis zur 1.Ernte sehr schlecht und bleibt bei dieser Betrachtung zunächst unberücksichtigt. Der Höchstertrag lag zu diesem Zeitpunkt bei Bor in VR₅, Kupfer in VR₇, Mangan und Zink in VR₄ und erreichte im Durchschnitt einen Wert von 10,6 g Trockensubstanz pro Gefäß (8,0 bis 12,2 g Tr.S./Gefäß).

Die Ertragskurven von Bor, Kupfer, Mangan und Zink weichen in ihrer Form unter den gegebenen Bedingungen wiederum erheblich voneinander ab (s.Abb. 5). In ihrer Grundform stimmt die Bor-ertragskurve mit der des Sandkulturversuches gut überein und verläuft von Bormangel bis zu Borüberschuß. Der Abschnitt des Mangelbereiches ist in der PVC-Kultur sogar differenzierter. Ihr am nächsten kommt in diesem Versuch die Ertragskurve der Zinksteigerungsreihe. Da die Mangankonzentration in VR₁ bis VR₃ offensichtlich zu hoch lag, um einen stärkeren Manganmangel hervorzurufen, ist der erste Teil der Manganertragskurve im Vergleich zum Bor- und Zinkversuch, ähnlich wie in dem Sandkulturversuch, nur schwach ausgeprägt. Der Höchstertragsbereich liegt zwischen VR₃ und VR₇. Während beim Kupferversuch der Mangelbereich gut wiedergegeben wird, fehlen die Kurvenabschnitte des Maximal- und Überschußbereiches. Hierfür sind überwiegend die hohen Kupferkonzentrationen der VR₇ bis VR₉ (ab VR₈ Absterben der Pflanzen) verantwortlich zu machen.

Abb. 5

PVCK I. E.
Tom. Sproß



Die Gehalte der gesteigerten Nährstoffe verändern sich in den Pflanzen im allgemeinen mit der Erhöhung ihrer Konzentration im Nährmedium in den ersten Versuchsreihen (VR₁ bis VR₄) kaum, nehmen aber anschließend mehr oder weniger deutlich zu.

Im Vergleich zum B-, Zn- und besonders Mn- schwankt der Cu-Gehalt - wie in allen anderen Versuchen - in engen Grenzen. Im Zn-Versuch liegen vermutlich, wie im Sandkulturversuch, zumindest in der VR₁ Zinkverunreinigungen vor (siehe hierzu Tabelle 24 , S.95).

Die nachstehenden Werte geben Auskunft über den Konzentrationsbereich der variierten Nährstoffe in den Pflanzen des PVC-Kulturversuches z.Zt. der 1.Ernte:

VR ₃	7,8 -	479,8 ug	B/g	Tr.S.	VR ₈
VR ₁	2,5 -	14,6 ug	Cu/g	" "	VR ₇
VR ₄	5,8 -	2100,0 ug	Mn/g	" "	VR ₈
VR ₃	18,8 -	527,1 ug	Zn/g	" "	VR ₈

In den Pflanzen der Versuchsreihen, die den Höchstertrag innerhalb der einzelnen PVC-Kulturversuche hervorbrachten, wurden zur gleichen Zeit folgende Gehalte der gesteigerten Mikronährstoffe pro g Trockensubstanz festgestellt:

16,9 ugB 14,6 ugCu 5,8 ugMn 21,2 ugZn

Während die Erträge beim niedrigsten Kupfer- und Borgehalt im Mangelbereich liegen, wird im Mangan- und Zinkversuch bereits annähernd der Höchstertrag erreicht (kein ausgeprägter Mangel; Zinkverunreinigungen). Die hohen Nährstoffgaben von Bor, Mangan und Zink rufen in VR₈ beträchtliche Ertragsdepressionen hervor.

Mit zunehmendem Angebot der gesteigerten Nährstoffe erhöht sich auch ihre Aufnahme (Entzug), die ebenso hier bei toxischen Gaben und gleichzeitigem schwachen bis starkem Ertragsabfall ihr Maximum erreicht.

Tabelle 2a

Tomaten in FVC-Kultur 1962

N-Steigerungsversuch, 1. Ernte Spröß

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. µg-Atom%) und -entzüge (mg bzw. µg/Gefäß)

V.R.	Düng. N/Gef. mg	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Atom %, Tr. S.					µg-Atom %, Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0	0,3	140	32	138	44	47	-	-	-	-	-
2	37,5	0,4	111	31	153	48	53	1376	-	-	-	-
3	75	0,6	130	24	124	47	43	1274	33	213	134	-
4	150	0,8	257	22	153	46	45	1116	46	193	169	-
5	300	0,8	310	21	151	50	38	918	44	165	156	-
6	600	2,7	208	14	81	43	20	672	29	121	112	-
7	1200	1,1	438	23	126	43	22	648	40	162	192	-
8	2400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

V.R.	Düng. N/Gef. mg	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Entzug					µg-Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0	0,3	4,9	2,5	13,7	4,5	2,9	-	-	-	-	-
2	37,5	0,4	6,4	3,9	24,6	8,0	5,3	61,3	-	-	-	-
3	75	0,6	11,3	4,5	30,0	11,6	6,5	85,1	13,1	72,2	54,0	-
4	150	0,8	28,5	5,4	47,3	14,5	8,6	95,5	23,2	83,9	87,4	-
5	300	0,8	36,4	5,4	49,4	16,9	7,8	83,4	23,5	76,1	85,5	-
6	600	2,7	77,9	11,9	85,5	45,9	12,7	194,3	49,9	177,2	195,7	-
7	1200	1,1	70,2	8,1	56,4	19,9	6,2	80,1	29,2	101,7	143,5	-
8	2400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 21

Tomaten in PVQ-Kultur 1962

B-Steigerungsversuch, 1. Ernte Sproß

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. µg-Atom%) und -entzüge (mg bzw. µg/Gefäß)

V.R.	B- Düng. mg B/P Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg- Atom % Tr. S.					µg- Atom % Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	1,3	315	24	150	39	31	82	49	254	162	
2	0,0075	2,0	324	24	154	39	29	82	45	255	151	
3	0,03	3,4	272	22	129	46	30	72	38	204	128	
4	0,12	8,9	154	15	87	37	20	80	27	141	97	
5	0,48	12,2	106	12	63	38	16	156	23	114	74	
6	1,92	12,0	102	12	60	37	16	417	23	117	96	
7	7,68	10,5	112	15	70	44	18	1455	24	129	90	
8	30,72	3,4	218	24	133	49	30	4434	36	159	132	
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

V.R.	B- Düng. mg B/P Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg- Entzug					µg- Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	1,3	57,4	9,6	76,6	20,6	9,7	11,5	40,5	181,7	138,1	
2	0,0075	2,0	91,1	15,2	120,4	31,2	14,4	17,7	57,9	280,8	197,9	
3	0,03	3,4	128,9	23,4	170,6	63,0	24,6	26,5	82,6	379,0	284,2	
4	0,12	8,9	191,6	42,0	301,4	131,0	42,2	76,9	149,6	687,0	561,7	
5	0,48	12,2	181,3	46,9	298,6	185,3	46,0	205,9	180,7	763,2	592,4	
6	1,92	12,0	170,8	46,0	279,2	179,2	45,6	541,3	174,4	770,6	749,5	
7	7,68	10,5	164,4	47,9	288,3	183,0	46,7	1652,4	162,3	741,5	619,9	
8	30,72	3,4	103,6	24,9	176,2	66,6	24,9	1627,1	77,3	295,8	291,8	

Tomaten in PVC-Kultur 1962

Cu-Steigerungsversuch, 1. Ernte Sproß

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. μ g-Atom%) und -entzüge (mg bzw. μ g/Gefäß)

[illegible]

Tabelle 23

Tomaten in PVC-Kultur 1962

Mn-Steigerungsversuch, 1. Ernte Sproß

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. µg-Atom%) und -entzüge (mg bzw. µg/Gefäß)

V.R.	Mn-Düng. mg Mn/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Atom % Tr. S.					µg-Atom % Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,0000	6,9	137	14	72	42	22	686	27	12,0	114	
2	0,0075	7,9	159	16	91	44	27	733	32	11,5	121	
3	0,0450	8,2	152	15	82	46	26	733	32	11,9	126	
4	0,2700	10,4	120	13	64	39	20	674	25	10,5	151	
5	1,6200	9,8	109	12	57	40	19	619	23	23,7	95	
6	9,7200	9,6	128	12	54	42	18	665	23	147,9	87	
7	58,3200	8,3	139	14	65	44	21	798	27	938,9	90	
8	349,9200	2,2	323	23	480	48	32	741	46	3822,3	135	

V.R.	Mn-Düng. mg Mn/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Entzug					µg-Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,0000	6,9	132,9	30,5	195,3	117,0	37,7	512,7	120,5	45,5	513,2	
2	0,0075	7,9	174,9	38,6	280,8	137,1	51,1	623,4	161,5	49,6	623,7	
3	0,0450	8,2	174,9	37,6	264,0	150,3	52,4	649,7	165,4	53,7	673,3	
4	0,2700	10,4	174,7	40,7	257,7	163,8	51,2	757,1	165,2	60,0	1024,7	
5	1,6200	9,8	148,8	37,1	218,2	154,4	44,9	653,1	139,6	126,9	606,6	
6	9,7200	9,6	172,1	36,2	205,0	162,4	42,3	692,9	140,9	782,8	549,1	
7	58,3200	8,3	161,9	36,1	211,7	148,2	41,6	719,7	140,4	4301,1	482,8	
8	349,9200	2,2	97,7	15,6	151,6	41,4	17,0	173,0	62,8	4531,7	189,9	

Tabelle 24

Tomaten in PVC-Kultur 1962

Zn-Steigerungsversuch, 1. Ernte Sproß

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. µg-Atom%) und -entzüge (mg bzw. µg/Gefäß)

V.R.	Zn-Düng. mg Zn/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Atom %, Tr. S.					µg-Atom %, Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,0000	4,3	269	18	126	53	31	978	37	142	68	
2	0,0075	8,8	187	14	84	42	23	802	24	109	49	
3	0,0375	10,9	110	12	57	40	17	646	18	100	29	
4	0,1875	11,9	105	11	55	38	16	627	18	96	32	
5	0,9375	9,7	102	11	54	38	15	642	20	91	49	
6	4,6875	7,8	103	12	55	46	18	691	22	108	94	
7	23,4375	3,4	178	15	89	49	24	756	30	122	172	
8	117,1875	3,6	204	16	115	50	30	727	42	181	806	

V.R.	Zn-Düng. mg Zn/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Entzug					µg-Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,0000	4,3	162,1	23,4	211,1	91,8	32,7	455,3	102,4	334,9	192,2	
2	0,0075	8,8	230,3	38,8	288,5	148,3	48,5	761,4	135,9	524,6	282,7	
3	0,0375	10,9	167,9	39,0	244,5	174,3	45,7	761,6	126,2	599,2	205,3	
4	0,1875	11,9	174,1	40,6	257,7	180,1	46,7	807,3	135,6	630,1	251,6	
5	0,9375	9,7	138,7	33,7	205,0	149,7	34,4	675,2	122,0	483,4	312,6	
6	4,6875	7,8	112,8	29,8	167,1	145,6	33,3	584,4	108,0	462,9	482,5	
7	23,4375	3,4	85,2	16,1	119,0	67,0	19,7	279,6	66,1	229,4	384,5	
8	117,1875	3,6	101,8	17,4	160,4	72,0	26,0	280,0	94,5	354,3	1870,2	

Tabelle 25

Der Einfluß hoher bis toxischer Bor-, Kupfer-, Mangan- und Zinkgaben auf den Pflanzenenertrag und den Gehalt und Entzug dieser Nährstoffe (PVC-Kulturversuch mit Tomaten 1962

1.Ernte Sproß):

	B	Cu	Mn	Zn	
<u>VR₇</u>					
	10,5 157,5	8,0 14,6	8,3 515,8	3,4 112,4	g Tr.S./Gefäß ppm i.d.Tr.S.
	7,7 1652,4	23,4 116,4	58,3 4301,1	23,4 384,5	mg/Gefäß (Düngung) ug/Gefäß (Entzug)
	21,5	0,5	7,4	1,6	% Aufn.(Entzug) d. Düngung/Gefäß
<u>VR₈</u>					
	3,4 479,8	- -	2,2 2100,0	3,6 527,1	g Tr.S./Gefäß ppm i.d.Tr.S.
	30,7 1627,1	117,2 -	349,9 4531,7	117,2 1876,2	mg/Gefäß (Düngung) ug/Gefäß (Entzug)
	5,3	-	1,3	1,6	% Aufn.(Entzug) d. Düngung/Gefäß

Die Gehalte und Entzüge an den mit der Grunddüngung gegebenen Nährstoffen sind in der Mehrzahl ertragsbedingt. In der Nähe des Ertragsmaximums findet man die niedrigsten Nährstoffgehalte, aber auch gleichzeitig die höchsten Nährstoffentzüge (siehe Tabelle 20-24 , S.91ff).

Jedoch können einige Abweichungen in der Nährstoffaufnahme festgestellt werden: Der Einfluß hoher Borkonzentrationen im Nährmedium auf die Phosphoraufnahme (Anstieg) ist im PVC-Kulturversuch nur angedeutet. Der Kaliumgehalt ist in Mn-VR₈ erhöht (vergleiche z.B. die Kaliumgehalte und -entzüge von B-VR₁ bis B-VR₃ und Cu-VR₁ bis Cu-VR₃). Eine erniedrigte Magnesiumaufnahme bei hohen Mangangaben kann bei einem Vergleich mit

B-VR₂ und B-VR₄ bzw. Cu-VR₂ und Cu-VR₇ nicht bestätigt werden. Andererseits würden die Ergebnisse aus Mn-VR₂, Mn-VR₃ und Zn-VR₂, Zn-VR₈ dafür sprechen (s.auch Sandkulturversuch). Die höchste Bordüngung wirkt sich im PVC-Kulturversuch - im Gegensatz zum Sandkulturversuch - nicht auf den Mangan Gehalt aus.

Die Tabellen 20-24, (S 91ff) geben einen Überblick über die Nährstoffgehalte und Nährstoffentzüge der 1. Ernte des PVC-Kulturversuches.

2. Ernte

Da sich der Stickstoffversuch bis zum Versuchsende relativ gut erholte, werden die Ergebnisse dieser Versuchsreihe - wenn auch unter Vorbehalt - bei der sich anschließenden Besprechung der 2. Ernte mitberücksichtigt.

Zu den Ertragskurven (Abb. 6 - 8) sei folgendes festgestellt: Im Stickstoffversuch stellt sich die Wachstumshemmung bei sehr hohen bis toxischen Stickstoffgaben nicht in dem Ausmaße ein, wie in den Stickstoffsteigerungsreihen der Sand- und Wasserkulturversuche, jedoch kommt die charakteristische Gestalt der Ertragskurve deutlich zum Ausdruck.

Die Borertragskurve verändert sich - von gewissen Verschiebungen abgesehen - nicht allzu sehr; aber auch in der Borversuchsreihe fehlen, wie in allen übrigen PVC-Kulturversuchen (Kupfer, Mangan und Zink), die niedrigen Erträge stark toxisch wirkender Nährstoffgaben, da die höchste Steigerungsstufe (VR₉) allgemein schon zu Versuchsbeginn ausfällt, und die Überschüßerscheinungen in den VR₇ und VR₈ im Laufe der Vegetation erheblich zurückgehen.

Während zur 1. Ernte innerhalb des Kupferversuches ein deutlicher Anstieg von VR₁ bis VR₇ beobachtet werden kann, zeigt die Kupferertragskurve zur 2. Ernte ein recht unklares Bild und keinen eindeutigen Verlauf. Ertragsanstieg und Ertragsabfall unterliegen relativ nur geringen Veränderungen.

Die graphische Darstellung der Manganerträge zeigt ebenfalls hier nur einen schwächer ausgeprägten Manganmangelbereich und eine Verlegung des Höchstertragsgebietes von VR₄ nach VR₇.

Abb. 6

PVCK 2.E.
Tom. Sproß

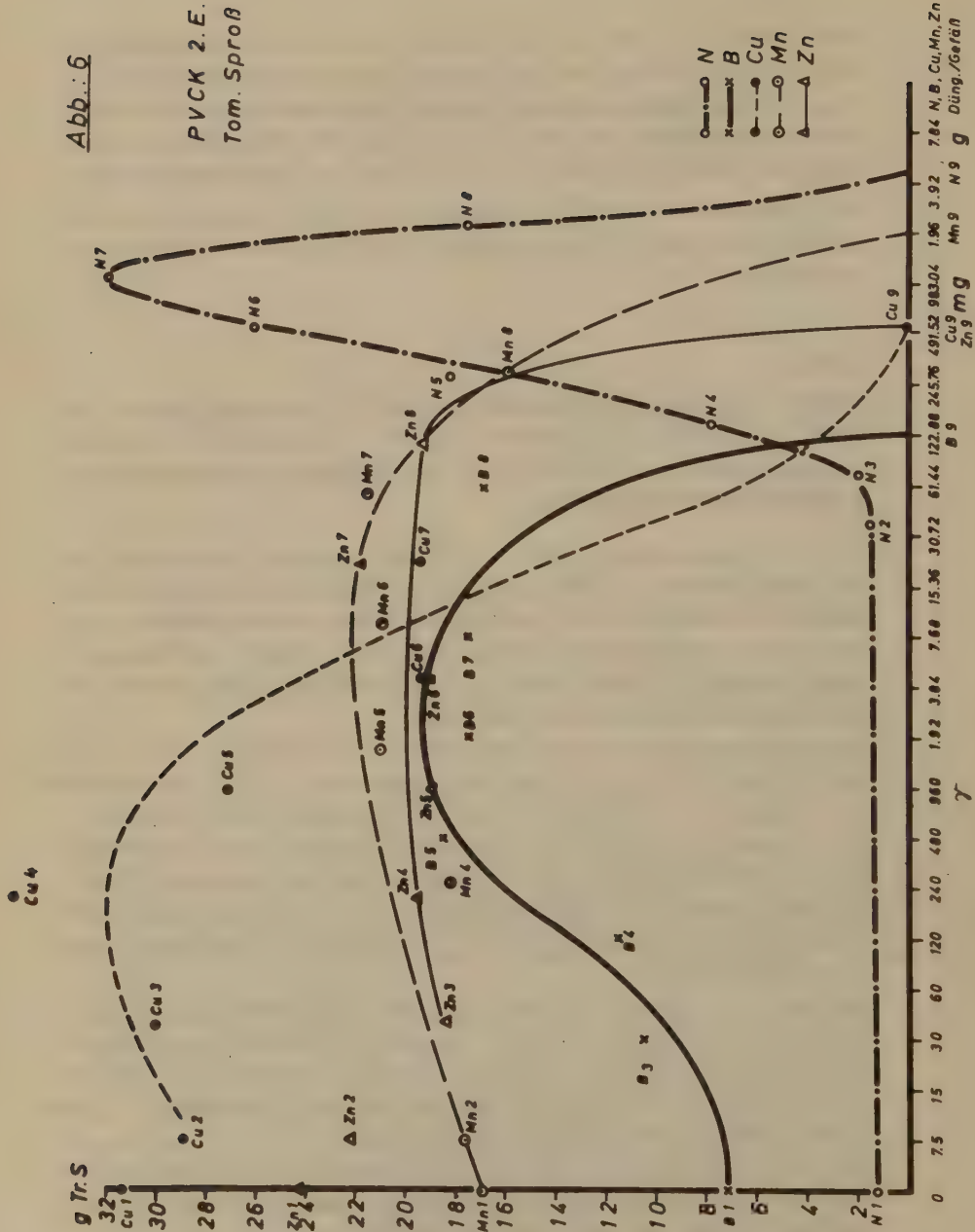


Abb.: 7

PVCK 2 E.
Tom. Früchte

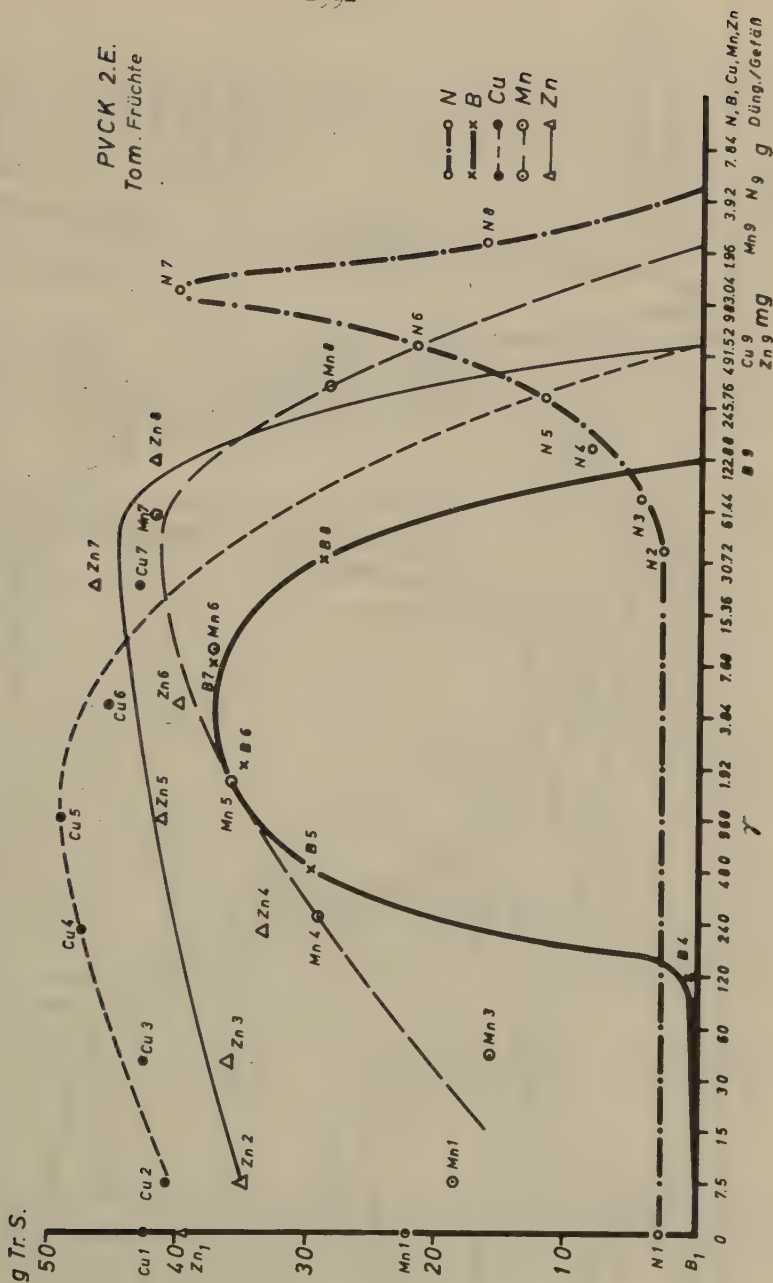
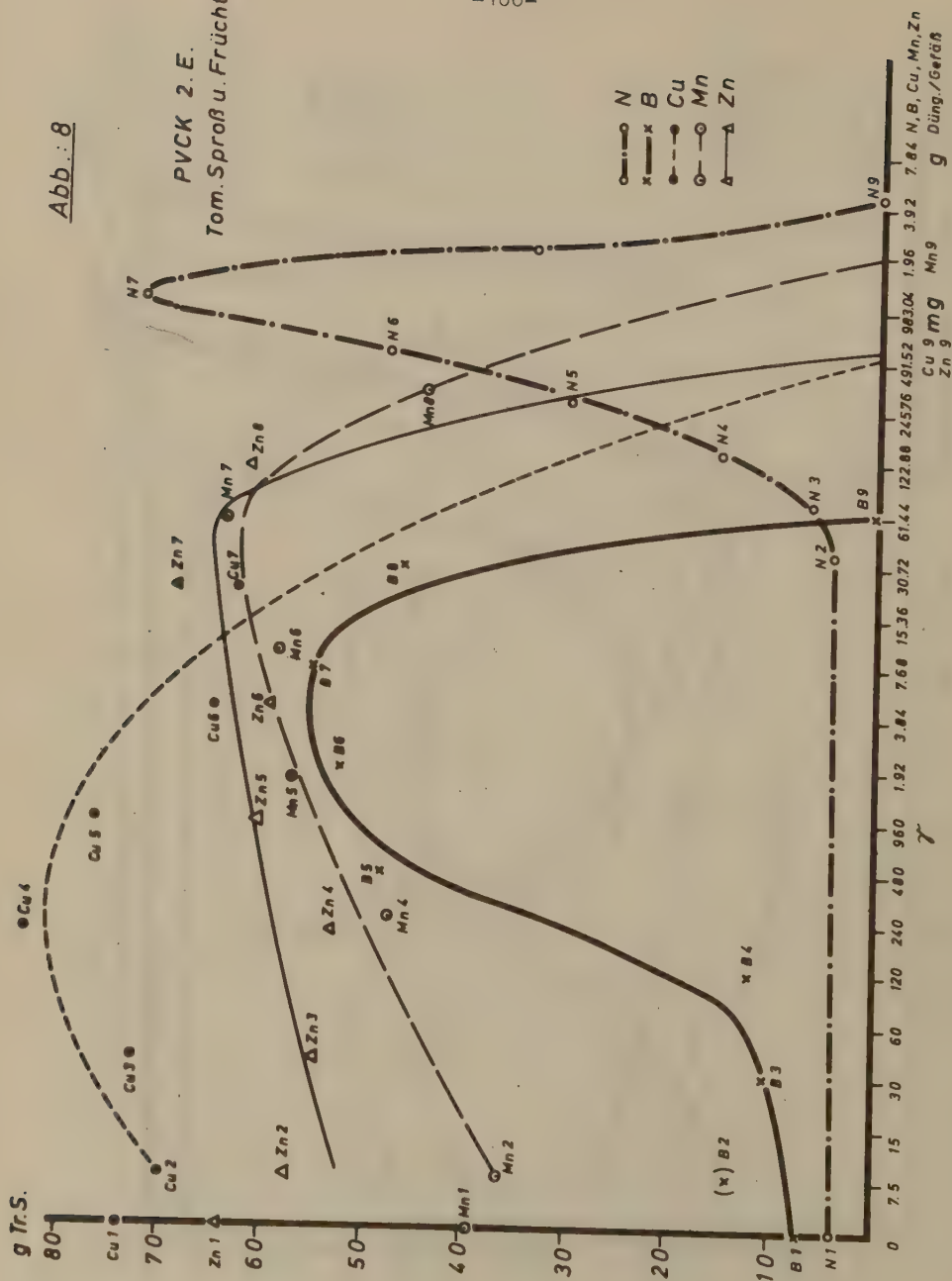


Abb.: 8

PVCK 2. E.
Tom. Sproß u. Früchte



Die Kurve, die den Einfluß gesteigerter Zinkgaben auf den Pflanzen-ertrag der 2. Ernte wiedergibt, verläuft nicht ganz so horizontal wie im vergleichbaren Zink-Sandkulturversuch. Der zur 1. Ernte zu beobachtende Zinkmangel und Zinküberschuß ist praktisch nicht mehr feststellbar - Zinkverunreinigungen und Rückgang der starken Wachstumshemmungen durch hohe Zinkgaben sind wahrscheinlich die Ursachen hierfür.

Der Höchstertrag (Sproß + Früchte), der bei den einzelnen Nährstoffen nicht in der gleichen Steigerungsstufe gefunden wird, beträgt im Durchschnitt der 5 Steigerungsversuche 68,7 g Trockensubstanz pro Gefäß (55,0 bis 83,4 g Tr.S./Gefäß).

Die getrennte Untersuchung der Sproß- und Fruchterträge bringt folgende Resultate (siehe Tabelle 26 und 27, S. 104-107):

Stickstoff: Das im Sandkulturversuch bei Stickstoffmangel (VR_3 bis VR_7) im Vergleich zum Fruchtgewicht höhere Sproßgewicht (Ertrag) kann in VR_1 bis $VR_{3/4}$ des PVC-Kulturversuches nicht festgestellt werden - das Gegenteil ist der Fall. Die Frucht-erträge liegen in VR_1 bis VR_3 etwa doppelt so hoch wie die Sproßerträge. In VR_5 , VR_6 und VR_7 werden die Ergebnisse des Stickstoff-Sandkulturversuches bestätigt. VR_5 und VR_6 lassen ein Abklingen des Stickstoffmangels erkennen und weisen ein Sproß-Frucht-Verhältnis auf, das über 1,0 beträgt.

Bei hohen Stickstoffgaben in VR_7 überwiegt schließlich das Fruchtgewicht (Ertrag) und das Sproß-Frucht-Verhältnis nimmt einen Wert an, der kleiner als 1 ist. Mittlere toxische Stickstoffgaben ergeben einen Sproß-Frucht-Ertrag von ungefähr gleicher Höhe (VR_8).

Die abweichenden Ergebnisse in den Versuchsreihen 1 bis 4 sind höchst wahrscheinlich auf die Wachstumsstörungen während des ersten Vegetationsabschnittes zurückzuführen, die erst in der Zeit nach der ersten Ernte deutlicher zurückgehen.

Bor: Wie im Sandkulturversuch werden bei starkem Bormangel in VR_1 bis VR_3 keine und in VR_4 nur wenige Früchte ausgebildet. Während der Sproßertrag innerhalb des Borversuches in VR_5 am höchsten liegt und nach VR_8 geringfügig abnimmt, steigt der

Fruchtertrag bis VR₇ noch deutlich an. Erst in VR₈ erfolgt dann ebenfalls eine Abnahme, die prozentual gesehen stärker als diejenige des Sprosses ist (s.auch Sandkulturversuch).

Kupfer: Von VR₁ des Kupferversuches abgesehen, nimmt der Sproßertrag von VR₂ bis VR₄, derjenige der Früchte von VR₂ bis VR₅ zu. Die Wachstumsdepressionen beginnen - wenn sie auch bei den Früchten nur als minimal anzusprechen sind - in VR₅ bzw. VR₆. Hohe Kupfergaben beeinflussen, wie die Tabelle zeigt, stärker den Sproß- als den Fruchtertrag.

Mangan: Im Manganversuch steigen die Sproßgewichte von VR₁ bis VR₅ etwas an, bleiben anschließend bis VR₇ praktisch konstant und erreichen in VR₈ (Manganüberschuß) ihren niedrigsten Wert. Läßt man die Ergebnisse von VR₁ und VR₃ außer Acht, die offensichtlich mit größeren Fehlern behaftet sind, so nimmt der Fruchtertrag von VR₂ bis VR₇ zu. Die Fruchtausbildung scheint bei hohen Mangangaben, ähnlich wie bei hohen Kupfergaben, weniger gehemmt zu sein als das Sproßwachstum.

Zink: Aus der Sproß- und Fruchtentwicklung innerhalb des Zinkversuches lassen sich keine besonderen Zinkwirkungen ableiten. Das Sproß-Frucht-Verhältnis zeigt jedoch, wie wir später noch sehen werden, eine fallende Tendenz (s. Seite 107).

Im folgenden sollen zunächst die Gehalte der gesteigerten Nährstoffe in den Tomatensprossen und -früchten der 2.Ernte besprochen werden; die entsprechenden Daten können der Tabelle 26 (S.104) entnommen werden.

Stickstoff: In den VR₁ bis VR₃ (starker N-Mangel) verändert sich der Stickstoffgehalt in Sproß und Früchten nur unbedeutend und liegt etwa auf der gleichen Höhe der VR₇, die den Höchstertrag des Stickstoffversuches erbrachte. Von VR₄ bis VR₆ (abgeschwächter N-Mangel) haben sowohl die Sprosse als auch die Früchte einen deutlich niedrigeren Stickstoffgehalt. Der höchste N-Gehalt ist - wie nicht anders erwartet - in VR₈ bei Stickstoffüberschuß zu suchen.

Wie im Sandkulturversuch erreicht der Stickstoffgehalt in den Früchten der VR₁ bis VR₇ einen bedeutend höheren Wert als in

den Sprossen. Die Differenz im FVC-Kulturversuch ist aber kleiner. In VR₇ nähern sich die Stickstoffwerte beider Pflanzenteile und in VR₈ (N-Überschuß) haben die Sprosse schließlich einen erheblich höheren Stickstoffgehalt als die Früchte.

Bor: Steigende Borzufuhr erhöht den Borgehalt in der Pflanze bzw. in den Pflanzenteilen von VR₁ bis VR₈. Den niedrigsten Borgehalt weisen die Tomatenpflanzen in VR₁ mit 4,5 ppm Bor auf. Der sich hieran anschließende Anstieg der Borkonzentration in den Sprossen ist von VR₂ bis VR₄ und in den Früchten von VR₄ bis VR₅ nur geringfügig. Erst ab VR₅ (Sproß) bzw. VR₆ (Früchte) wird Bor verstärkt aufgenommen und erreicht in VR₈ seine höchste Konzentration.

Im Gegensatz zum Stickstoffgehalt im Stickstoffversuch ist der Borgehalt von VR₄ bis VR₈ in den Sprossen wesentlich höher als in den Früchten; die Gehaltsunterschiede werden bis VR₈ immer größer. Während in VR₄ der Sproß etwa den doppelten Borgehalt der Früchte aufweist, beträgt er in VR₈ etwa das 17-fache.

Kupfer: Der Kupfergehalt liegt in VR₁ bis VR₄ (Sproß: 1,5 bis 2,0 ppm Cu) bzw. VR₁ bis VR₃ (Früchte: 0,5 bis 0,6 ppm Cu) am niedrigsten und verändert sich innerhalb dieser Versuchsreihen nur unwesentlich. Erst ab VR₅ bzw. VR₄ ist ein deutlicher Anstieg bis VR₈ zu erkennen. Die Kupferkonzentrationen erreichen in den Pflanzen - wie in den Sand- und Wasserkulturversuchen - ebenfalls nicht die Werte der übrigen gesteigerten Elemente. Von VR₁ bis VR₈ wird auch hier in den Früchten ein niedrigerer Gehalt des gesteigerten Elementes (Kupfer) gefunden als in den Sprossen. Bei starker Kupferzufuhr (VR₈) ist die Kupferkonzentration im Sproß 4,6 mal höher als in den Früchten. Der Quotient Sproßgehalt/Fruchtgehalt nimmt von VR₁ bis VR₆ ab, von VR₇ an wieder zu und hat seinen höchsten Wert in VR₈ (s.Seite 107).

Mangan: Relativ konstante Gehaltswerte sind auch im Manganversuch (VR₁ bis VR₄ Sproß bzw. VR₁ bis VR₃ Früchte) ein Kennzeichen schwachen Mangangabens. Mit steigenden Mangangaben erhöht sich der Mangangehalt sichtbar erst ab VR₅ bzw. VR₄ und erreicht sein Maximum in VR₈.

Tabelle 26

Der Einfluß gesteigerter N-, B-, Cu-, Mn- und Zn-Gaben auf den Ertrag und den Gehalt dieser Elemente in der Trockensubstanz (FVC-Versuch mit Tomaten 1962). Der niedrigste und höchste Gehalt des betreffenden Elementes innerhalb der Versuchsreihe ist unterstrichen.

1. = Erste Ernte Sproß

2. = Zweite Ernte Sproß

3. = Zweite Ernte Früchte

	VR ₁	VR ₂	VR ₃	VR ₄	VR ₅	VR ₆	VR ₇	VR ₈	
<u>N</u>									
1.	0,3 19,6	0,4 <u>15,5</u>	0,6 18,3	0,8 36,1	0,8 43,4	2,7 29,1	1,1 <u>61,4</u>	- -	g TrS mgN/g
2.	1,3 9,5	1,4 9,8	1,9 9,0	7,1 <u>6,5</u>	18,2 6,7	26,0 6,5	31,9 10,1	17,5 33,5	g TrS mgN/g
3.	2,5 12,5	2,8 11,9	4,4 12,2	8,3 10,3	11,9 <u>8,5</u>	22,0 10,0	40,5 11,8	16,5 <u>21,6</u>	g TrS mgN/g
<u>B</u>									
1.	1,3 8,8	2,0 8,8	3,4 <u>7,8</u>	8,9 8,7	12,2 16,9	12,0 45,1	10,5 157,5	3,4 <u>479,8</u>	g TrS ppm B
2.	7,1 <u>4,5</u>	13,8 7,6	10,4 7,2	11,6 8,9	18,4 18,2	17,5 35,8	17,5 140,1	16,8 <u>722,5</u>	g TrS ppm B
3.	- -	- -	- -	0,4 <u>4,5</u>	29,8 4,6	35,0 9,1	37,5 12,5	29,2 <u>42,8</u>	g TrS ppm B

	VR ₁	VR ₂	VR ₃	VR ₄	VR ₅	VR ₆	VR ₇	VR ₈	
<u>Cu</u>									
1.	2,8	2,6	3,2	2,9	5,1	5,9	8,0	-	g TrS
	<u>2,5</u>	2,7	3,6	5,1	8,2	13,4	<u>14,6</u>	-	ppm Cu
2.	31,3	28,9	30,0	35,7	27,2	19,4	19,4	33,0 ^x	g TrS
	2,0	1,8	<u>1,6</u>	1,9	3,0	7,3	17,0	<u>26,6</u>	ppm Cu
3.	42,6	41,1	42,8	47,7	49,4	45,5	43,4	46,1	g TrS
	0,6	0,5	<u>0,5</u>	1,2	2,1	4,7	<u>6,3</u>	5,8	ppm Cu
<u>Mn</u>									
1.	6,9	7,9	8,2	10,4	9,8	9,6	8,3	2,2	g TrS
	6,6	6,3	6,6	<u>5,8</u>	13,0	81,3	515,8	<u>2100,0</u>	ppm Mn
2.	17,0	17,8	-	18,2	21,2	20,9	21,5	15,7	g TrS
	13,0	<u>11,2</u>	-	12,5	18,6	108,8	499,1	<u>3679,6</u>	ppm Mn
3.	22,3	18,7	15,9	29,3	36,1	37,8	42,4	28,7	g TrS
	3,0	3,3	<u>2,4</u>	4,3	6,1	14,7	40,6	<u>141,2</u>	ppm Mn
<u>Zn</u>									
1.	4,3	8,8	10,9	11,9	9,7	7,8	3,4	3,6	g TrS
	44,7	32,2	<u>18,8</u>	21,2	32,2	61,7	112,4	<u>527,1</u>	ppm Zn
2.	24,2	22,2	18,4	19,5	19,1	19,3	21,7	19,3	g TrS
	69,9	<u>29,5</u>	47,4	54,2	58,5	97,0	143,0	<u>370,3</u>	ppm Zn
3.	39,9	35,1	36,3	33,5	41,7	40,4	46,9	42,3	g TrS
	14,3	12,9	<u>12,3</u>	12,8	13,1	17,9	38,6	<u>54,2</u>	ppm Zn

x nur 1 Pflanze

Tabelle 27

Der Einfluß gesteigerter N-, B-, Cu-, Mn- und Zn-Gaten auf das sproß-Frucht-Verhältnis (Ertrag, Gehalt, Entzug) bei Tomaten (PVC-Versuch 1962, zweite Ernte, Sproß + Früchte)

N:	Gew./Pfln. in g	mgN/g Tr.S.	mg/g-Verh. Sproß/Frucht	mg-Entzugs-Vh. Sproß/Frucht	Ertrags-Vh. Sproß/Frucht
	3,82	11,50	0,76	0,39	0,51
	4,20	11,17	0,82	0,42	0,51
	6,33	11,22	0,74	0,32	0,43
	15,39	8,56	0,63	0,54	0,86
	30,08	7,41	0,79	1,21	1,53
	48,00	8,07	0,65	0,76	1,18
	72,43	11,05	0,85	0,67	0,79
	34,01	27,73	1,55	1,64	1,06

B:	Gew./Pfln. in g	ppm in d.Tr.S.	ppm-Verh. Sproß/Frucht	ug-Entzugs-Vh. Sproß/Frucht	Ertrags-Vh. Sproß/Frucht
	7,09	4,45	-	-	-
	13,81	7,55	-	-	-
	10,39	7,16	-	-	-
	12,00	8,70	1,95	52,24	26,91
	48,20	9,78	3,95	2,43	0,62
	52,53	18,00	3,92	1,96	0,50
	55,03	53,10	11,18	5,21	0,47
	45,95	292,51	16,89	9,71	0,58

Gew./Pfln. in g	ppm in d.Tr.b.	ppm-Verh. Sproß/Frucht	ug-Entzugs-Vh. Sproß/Frucht	Ertrags-Vh. Sproß/Frucht
--------------------	-------------------	---------------------------	--------------------------------	-----------------------------

Cu:	73,94	1,12	3,14	2,73	0,74
	69,98	1,00	3,65	2,55	0,70
	72,76	0,92	3,43	2,39	0,70
	83,39	1,51	1,59	1,19	0,75
	76,52	2,38	1,45	0,80	0,55
	64,85	5,46	1,56	0,67	0,46
	62,80	9,63	2,69	1,20	0,45
	74,14 ⁺	14,47	4,61	3,30	0,72

(⁺1 Pflanze von 8; 7 gingen zugrunde)

Mn:	39,38	7,29	4,35	3,32	0,76
	36,47	6,99	3,44	3,27	0,95
	-	-	-	-	-
	47,54	7,18	2,89	1,79	0,62
	57,26	11,04	3,06	1,79	0,59
	58,74	52,89	7,42	4,11	0,55
	63,90	231,71	12,29	6,22	0,51
	44,39	1427,81	26,06	14,31	0,55

Zn:	64,11	35,25	4,88	2,95	0,61
	57,35	19,28	2,29	1,45	0,63
	54,71	24,08	3,84	1,94	0,51
	52,96	28,02	4,23	2,46	0,58
	60,78	27,38	4,47	2,04	0,48
	59,66	43,48	5,41	2,59	0,48
	68,60	71,63	3,71	1,72	0,46
	61,64	153,25	6,84	3,12	0,46

wiederum sind es die Sprosse, die besonders bei hohen Mangangaben in VR₇ und VR₈ eine bedeutend höhere (12- bzw. 26-fache) Mangankonzentration aufweisen als die Früchte.

Zink: Bleibt VR₁ unberücksichtigt (Zinkverunreinigung), so steigt der Zinkgehalt in den Sprossen nur langsam an, während er sich in den Früchten kaum verändert. Eine erhöhte Zinkkonzentration kann erst ab VR₆ bis VR₈ beobachtet werden. Offensichtlich erfolgt erst bei verstärktem Zinkangebot ein erhöhter Zinktransport in die Früchte. Die bevorzugte Aufnahme des Zinks durch den Sproß kann auch hier festgestellt werden. Das Gewebe der vegetativen Pflanzenorgane (Blätter und Stengel) enthält in VR₈ etwa die 7-fache Zinkkonzentration wie dasjenige der generativen Organe (Früchte).

Obwohl Kupfer und Zink in den gleichen Mengen verabreicht wurden, beträgt die Zinkaufnahme ein Mehrfaches der Kupferaufnahme (vergl. z.B. VR₇ und VR₈ beider Versuche).

Am Versuchsende lagen die Gehalte der gesteigerten Nährstoffe in der Pflanzensubstanz zwischen:

<u>Sproß:</u>	VR ₄	6,5 -	33,5 mg	N/g	Tr.S.	VR ₈
	VR ₁	4,5 -	722,5 ug	B/g	" "	"
	VR ₃	1,6 -	26,6 ug	Cu/g	" "	"
	VR ₂	11,2 -	3679,6 ug	Mn/g	" "	"
	VR ₂	29,5 -	370,3 ug	Zn/g	" "	"

<u>Früchte:</u>	VR ₅	8,5 -	21,6 mg	N/g	Tr.S.	VR ₈
	VR ₄	4,5 -	42,8 ug	B/g	" "	"
	VR ₂	0,5 -	6,3 ug	Cu/g	" "	VR ₇
	VR ₃	2,4 -	141,2 ug	Mn/g	" "	VR ₈
	VR ₃	12,3 -	54,2 ug	Zn/g	" "	"

Die Nährstoffgehalte der variierten Elemente in Sproß und Früchte innerhalb des Höchstsertragsbereiches des FVC-Kulterversuches mit Tomaten 1962:

1. Ernte Sproß:

entfällt	mg	N/g	Tr.S.	
16,9 - 45,1	ug	B/g	" "	(VR ₅ - VR ₆)
14,6	ug	Cu/g	" "	(VR ₇)
5,8 - 81,3	ug	Mn/g	" "	(VR ₄ - VR ₆)
18,8 - 32,2	ug	Zn/g	" "	(VR ₃ - VR ₅)

2. Ernte Sproß:

10,1	mg	N/g	Tr.S.	(VR ₇)
18,2 - 140,1	ug	B/g	" "	(VR ₅ - VR ₇)
1,9 - 3,0	ug	Cu/g	" "	(VR ₄ - VR ₅)
18,6 - 499,1	ug	Mn/g	" "	(VR ₅ - VR ₇)
29,5 - 370,3	ug	Zn/g	" "	(VR ₂ - VR ₈)

2. Ernte Früchte:

11,8	mg	N/g	Tr.S.	(VR ₇)
4,6 - 12,5	ug	B/g	" "	(VR ₅ - VR ₇)
1,2 - 2,1	ug	Cu/g	" "	(VR ₄ - VR ₅)
6,1 - 40,6	ug	Mn/g	" "	(VR ₅ - VR ₇)
12,9 - 54,2	ug	Zn/g	" "	(VR ₂ - VR ₈)

Die Quotienten der Nährstoffkonzentrationen (mgN/g Tr.S. bzw. ug B, Cu, Mn und Zn/g Tr.S.) von Sproß und Früchten erreichen bei hohen bis sehr hohen (toxischen) Gaben dieser Nährstoffe der Größe nach geordnet folgende Werte in VR₈:

N	Cu	Zn	B	Mn
1,6	4,6	6,8	16,9	26,1

Zur Ergänzung seien die entsprechenden Zahlen des Sandkulturversuches angegeben:

N	Cu	Zn	B	Mn	
-	3,5	5,9	12,0	21,9	VR ₇
1,1	4,9	13,6	20,1	15,9	VR ₈

Bei einem Vergleich der Ergebnisse der PVC- und Sandkulturversuche ergeben sich - wie zu ersehen ist - recht gute Überein-

stimmung dieser Quotienten. Während mit verstärktem Stickstoffangebot (mäßig bis starker N-Überschuß) die Stickstoffverteilung auf Sproß und Früchte etwa gleichmäßig erfolgt, steigen die Konzentrationen von Cu, Zn, B und besonders Mn in den Sprossen bedeutend höher an als in den Früchten.

Tabelle 28

Der Einfluß hoher bis toxischer N-, B-, Cu-, Mn- und Zn-Gaben auf den Pflanzenertrag und den Gehalt und Entzug dieser Nährstoffe (PVC-Kulturversuch mit Tomaten 1962 2. Ernte: Sproß + Früchte)

N	B	Cu	Mn	Zn
<u>VR₇</u>				
72,4	55,0	62,8	63,9	68,6 g Tr.S./Gefäß
11,1 ⁺	53,1	9,6	194,7	71,6 mg ⁺ bzw. ug/g Tr.S.
1200	7,7	23,4	58,3	23,4 mg/Gefäß (Düngung)
800,1 ⁺⁺	2922,0	604,6	12441,1	4914,1 mg ⁺⁺ bzw. ug/Gef. (Entz.)
66,7	37,9	2,6	21,3	21,0 % Aufn. (Entzug) d. Düngung/Gefäß
<u>VR₈</u>				
34,8	46,0	79,1	44,4	61,6 g Tr.S./Gefäß
27,7 ⁺	292,5	14,5	1395,4	153,3 mg ⁺ bzw. ug/g Tr.S.
2400	30,7	117,2	349,9	117,2 mg/Gefäß (Düngung)
943,1 ⁺⁺	13370,8	1146,2	61940,0	9446,3 mg ⁺⁺ bzw. ug/Gef. (Entz.)
39,3	43,6	1,0	17,7	8,1 % Aufn. (Entzug) d. Düngung/Gefäß

Wie nicht anders zu erwarten, fallen die Gehalte der nicht variierten Nährstoffe in der Pflanzensubstanz mit dem Anstieg des Ertrages und nehmen bei Ertragsminderungen wieder zu. Daher findet man im allgemeinen die niedrigsten Nährstoffgehalte in den Versuchsreihen, die den Höchstertrag erbrachten bzw. ihn annähernd erreichten (siehe Tabelle 29-38, S. 111ff).

Tabelle 29

Tomaten in PVC-Kultur 1962

N-Steigerungsversuch, 2. Ernte Sproß

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. µg-Atom%) und -entzug (mg bzw. µg/Gefäß)

V.R.	N-Düng. in mg N/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Atom%, Tr. S.					µg-Atom%, Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0	1,3	68	22	183	28	35	1707	34	294	121	
2	37,5	1,4	70	21	177	37	38	1573	35	205	132	
3	75	1,9	64	19	160	45	41	2010	40	207	154	
4	150	7,1	46	16	115	40	30	1564	23	237	122	
5	300	18,2	48	13	79	44	18	1042	18	179	92	
6	600	26,0	46	13	53	39	11	563	13	126	90	
7	1200	31,9	72	11	36	33	8,4	547	14	124	105	
8	2400	17,5	239	15	54	35	8,6	543	27	160	126	

V.R.	N-Düng. in mg N/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Entzug					µg-Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0	1,3	12,3	8,6	92,3	14,7	11,0	238,4	27,9	208,6	102,3	
2	37,5	1,4	13,9	9,2	98,0	21,0	13,0	241,4	31,4	159,9	122,2	
3	75	1,9	17,1	11,4	119,1	34,4	19,1	415,1	48,8	216,7	192,2	
4	150	7,1	46,4	36,3	319,7	115,4	52,3	1206,4	106,3	928,5	570,8	
5	300	18,2	122,2	71,0	562,4	318,3	80,0	2052,0	203,5	1792,1	1091,0	
6	600	26,0	167,9	107,5	542,4	404,1	69,4	1585,7	209,1	1799,1	1532,8	
7	1200	31,9	320,7	112,1	449,8	419,2	65,5	1889,7	281,5	2179,5	2186,5	
8	2400	17,5	585,7	81,7	367,0	245,0	36,5	1027,6	302,4	1538,7	1436,4	

Tabelle 30

Tomaten in PVK-Kultur 1962

N-Steigerungsversuch, 2. Ernte Früchte

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. μg -Atom%) und -entzüge (mg bzw. μg /Gefäß)

V.R.	N-Düng. mg N ₂ /Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Atom %, Tr. S.					μg -Atom %, Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0	2,5	89	15	127	2,8	11,6	161	7,2	34	23	
2	37,5	2,8	85	15	126	3,2	10,2	167	7,0	24	23	
3	75	4,4	87	15	124	3,2	9,2	182	8,1	26	24	
4	150	8,3	73	13	105	2,7	7,4	156	8,6	25	27	
5	300	11,9	61	12	93	4,0	6,9	136	8,8	26	25	
6	600	22,0	71	12	78	3,4	6,7	117	9,2	24	26	
7	1200	40,5	84	10	59	2,4	5,0	94	10,0	23	22	
8	2400	16,5	154	10	56	2,2	4,4	95	13,4	38	28	

V.R.	N-Düng. mg N ₂ /Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Entzug					μg -Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0	2,5	31,6	11,5	125,4	2,8	7,2	44,0	11,6	46,8	38,3	
2	37,5	2,8	33,1	12,3	136,8	3,5	6,9	50,4	12,4	37,3	42,5	
3	75	4,4	53,9	20,5	214,9	5,6	9,9	86,9	22,8	62,2	69,4	
4	150	8,3	85,4	32,6	338,8	9,1	15,0	139,4	45,0	113,4	144,8	
5	300	11,9	100,7	44,2	430,6	19,0	20,0	174,7	66,0	169,8	192,0	
6	600	22,0	219,7	78,8	674,9	30,4	35,7	279,6	129,1	290,0	379,9	
7	1200	40,5	479,4	124,2	927,6	38,0	48,9	413,2	257,2	501,3	584,8	
8	2400	16,5	357,4	49,6	360,5	14,4	17,7	170,3	140,9	341,1	306,8	

Tabelle 31
Tomaten in FVC-Kultur 1962
B-Steigerungsversuch, 2. Ernte Sproß
Mineralstoffgehalte (mg- bzw. µg-Atom%) und -entzüge (mg bzw. µg/Gefäß)

V.R.	B-Düng. mg B ₂ /Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Atom%, Tr. S.					µg-Atom%, Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	7,1	327	22	144	24	21	41	62	191	166	
2	0,0075	13,8	320	24	147	26	16	70	27	171	109	
3	0,03	10,4	298	23	140	35	26	66	62	218	165	
4	0,12	11,6	280	25	130	44	20	82	38	186	146	
5	0,48	18,4	163	27	54	65	8,7	168	14	181	84	
6	1,92	17,5	148	26	34	68	7,4	331	12	182	87	
7	7,68	17,5	158	27	38	68	7,5	1295	12	183	86	
8	30,72	16,8	198	30	62	68	13	6678	21	190	105	
V.R.	B-Düng. mg B ₂ /Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Entzug					µg-Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	7,1	324,5	48,2	399,0	69,4	36,9	31,5	277,7	743,3	771,2	
2	0,0075	13,8	618,4	105,0	793,5	141,2	54,1	104,3	240,5	1291,0	982,3	
3	0,03	10,4	433,2	74,7	568,4	147,6	64,5	74,3	412,3	1241,9	1119,2	
4	0,12	11,6	454,4	89,3	586,3	210,7	55,7	102,4	278,8	1182,8	1103,4	
5	0,48	18,4	418,3	153,1	385,0	475,9	38,8	333,9	162,9	1830,2	1005,0	
6	1,92	17,5	362,2	139,4	234,4	474,2	31,3	626,2	132,6	1746,2	998,6	
7	7,68	17,5	388,5	146,8	256,9	478,9	31,9	2451,6	136,9	1759,6	983,7	
8	30,72	16,8	464,6	153,4	403,7	460,1	54,5	12122,4	223,2	1754,5	1152,5	

Tabelle 32

Tomaten in PVC-Kultur 1962

B-Steigerungsversuch, 2. Ernte Früchte

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. μg -Atom%) und -entzüge (mg bzw. μg /Gefäß)

V.R.	B- mg	Düng. Bf Gef.	Ertrag/Gef. g. Tr. S.	mg- Atom %, Tr. S.					μg - Atom %, Tr. S.				
				N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1		0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2		0,0075	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3		0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4		0,12	0,4	-	33	129	7,8	11,8	42	-	-	-	-
5		0,48	29,8	135	15	81	3,7	5,5	43	11,0	32	28	
6		1,92	35,0	104	15	72	3,4	4,4	84	8,2	30	23	
7		7,68	37,5	102	15	71	3,4	4,2	116	7,8	27	21	
8		30,72	29,2	149	18	90	4,1	6,3	395	11,9	32	31	

V.R.	B- mg	Düng. Bf Gef.	Ertrag/Gef. g. Tr. S.	mg-Entzug					μg -Entzug				
				N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1		0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2		0,0075	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3		0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4		0,12	0,4	-	4,4	21,8	1,3	1,2	1,9	-	-	-	-
5		0,48	29,8	563,5	143,0	939,1	44,6	39,9	137,3	207,8	520,0	543,5	
6		1,92	35,0	510,5	158,2	982,1	47,3	37,8	319,3	183,1	573,3	527,4	
7		7,68	37,5	537,0	174,3	1046,6	51,7	38,8	470,4	185,0	552,7	515,1	
8		30,72	29,2	609,6	160,1	1025,4	47,6	44,8	1248,4	220,9	506,6	591,8	

Tabelle 33

Tomaten in iVG-Kultur 1962

Cu-Steigerungsversuch, 2. Ernte Sproß

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. µg-Atom%) und -entzüge (mg bzw. µg/Gefäß)

V.R.	Cu-Düng. mg Cu/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Atom%, Tr. S.					µg-Atom%, Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	31,3	104	17	31	40	8,5	540	3,2	134	88	
2	0,0075	28,9	125	18	31	45	8,3	530	2,8	140	78	
3	0,0375	30,0	123	19	32	45	7,4	496	2,5	135	75	
4	0,1875	35,7	99	16	27	38	6,9	463	3,0	108	63	
5	0,9375	27,2	111	19	25	49	6,9	491	4,7	143	96	
6	4,6875	19,4	131	24	25	62	7,8	591	11,5	172	117	
7	23,4375	19,4	119	22	27	59	8,6	642	26,8	221	127	
8	117,1875	33,0	88	13	31	32	7,4	501	41,9	147	121	

V.R.	Cu-Düng. mg Cu/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Entzug					µg-Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	31,3	457,3	160,4	374,5	505,2	64,4	1829,3	63,1	2298,2	1802,6	
2	0,0075	28,9	506,0	162,6	349,7	517,0	58,1	1654,3	50,5	2223,0	1473,7	
3	0,0375	30,0	515,7	179,4	372,2	536,2	53,9	1608,5	47,3	2214,1	1480,3	
4	0,1875	35,7	495,4	172,3	373,5	536,3	59,6	1785,0	68,3	2118,8	1470,4	
5	0,9375	27,2	420,9	159,3	264,1	535,0	45,5	1441,9	80,7	2140,0	1707,4	
6	4,6875	19,4	356,6	141,2	188,9	482,9	36,8	1239,9	141,6	1835,3	1468,3	
7	23,4375	19,4	322,7	134,3	207,1	461,3	40,8	1348,9	330,1	2353,4	1612,9	
8	117,1875	33,0	407,4	130,0	401,5	423,5	59,5	1792,0	879,6	2674,0	2606,8	

Tabelle 34

Tomaten in PVC-Kultur 1962

Cu-Steigerungsversuch, 2. Ernte Früchte

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. μg -Atom%) und -entzüge (mg bzw. μg /Gefäß)

V.R.	Cu-Düng. mg auf Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Atom %, Tr. S.					μg -Atom %, Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	42,6	91	12	54	2,5	2,5	72	1,0	21	20	
2	0,0075	41,1	95	12	55	2,6	3,3	73	0,8	22	22	
3	0,0375	42,8	93	12	55	2,4	2,7	77	0,7	22	21	
4	0,1875	47,7	86	12	52	2,3	2,8	76	1,9	22	20	
5	0,9375	49,4	97	12	55	2,6	2,9	81	3,2	23	20	
6	4,6875	45,5	108	14	62	3,1	3,4	95	7,4	26	20	
7	23,4375	43,4	116	13	61	3,0	3,5	101	10,0	29	20	
8	117,1875	46,1	122	12	59	2,1	3,5	94	9,1	32	20	

V.R.	Cu-Düng. mg auf Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Entzug					μg -Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	42,6	543,0	156,4	907,2	42,7	23,6	332,2	23,1	491,8	558,1	
2	0,0075	41,1	544,2	155,6	887,0	42,2	32,7	326,8	19,8	487,9	584,7	
3	0,0375	42,8	555,3	161,8	921,1	40,4	27,9	356,7	19,8	512,2	601,2	
4	0,1875	47,7	577,0	177,0	963,0	43,5	33,0	394,0	57,5	566,5	617,0	
5	0,9375	49,4	670,0	190,2	1057,4	51,1	34,6	433,8	101,1	616,9	043,7	
6	4,6875	45,5	686,9	190,7	1097,3	57,0	37,5	469,3	212,3	643,6	582,8	
7	23,4375	43,4	706,4	176,9	1043,1	52,6	36,6	476,3	274,5	689,5	580,6	
8	117,1875	46,1	787,2	177,4	1060,8	39,4	38,9	468,9	266,7	817,7	610,6	

Tabelle 35

Tomaten in PVC-Kultur 1962

Min-Steigerungsversuch, 2. Ernte Sproß

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. µg-Atom%) und -entzüge (mg bzw. µg/Gefäß)

V.R.	Min- Düng. mg NH ₄ /Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Atom 1/4 Tr. S.						µg-Atom 1/4 Gefäß					
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn			
1	0,0000	17,0	183	29	66	63	10,4	531	15	23	106			
2	0,0075	17,8	176	29	55	68	10,5	563	17	20	87			
3	0,0450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
4	0,2700	18,2	167	23	40	61	8,7	519	12	23	94			
5	1,6200	21,2	139	22	35	59	8,0	476	9	34	107			
6	9,7200	20,9	141	24	34	64	7,3	522	11	198	131			
7	58,3200	21,5	116	22	32	56	7,6	535	11	908	82			
8	349,9200	15,7	178	29	81	61	16,0	797	32	6698	147			

V.R.	Min- Düng. mg NH ₄ /Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Entzug						µg-Entzug					
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn			
1	0,0000	17,0	449,9	154,0	438,6	429,5	43,1	979,2	163,1	220,8	1181,0			
2	0,0075	17,8	438,6	160,3	383,0	482,6	45,4	1082,0	191,3	199,2	1008,9			
3	0,0450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
4	0,2700	18,2	426,3	130,2	282,6	447,8	38,6	1022,9	136,6	228,1	1114,8			
5	1,6200	21,2	411,7	141,6	288,9	498,3	41,2	1089,3	126,4	393,2	1470,3			
6	9,7200	20,9	412,2	158,1	278,4	532,9	37,0	1183,2	143,8	2277,9	1789,8			
7	58,3200	21,5	348,3	143,4	268,9	481,7	39,7	1244,3	156,6	10718,5	1156,3			
8	349,9200	15,7	391,2	143,4	499,9	385,2	61,0	1357,1	323,5	57894,1	1509,5			

Tabelle 36

Tomaten in PVC-Kultur 1962

Mn-Steigerungsversuch, 2. Ernte Früchte

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. $\mu\text{g-Atom}\%$) und -entzüge (mg bzw. $\mu\text{g/Gefäß}$)

V.R.	Min-Düng. mg $\frac{Mn}{Mn}$ /Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Atom % Tr. S.					μg -Atom % Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,0000	22,3	160	17	99	4,0	5,7	97	11,0	5,4	33	
2	0,0075	18,7	152	17	99	3,9	5,8	106	10,0	5,9	30	
3	0,0450	15,9	162	17	103	4,0	6,3	130	10,1	4,4	48	
4	0,2700	29,3	128	16	83	3,8	5,0	116	9,1	7,9	30	
5	1,6200	36,1	110	14	70	3,0	3,9	93	7,2	11,1	22	
6	9,7200	37,8	107	13	67	3,0	3,5	87	7,2	26,7	26	
7	58,3200	42,4	109	13	61	2,7	3,7	77	9,6	73,9	21	
8	349,9200	28,7	155	16	78	2,7	4,2	100	11,7	257,0	26	

V.R.	Min-Düng. mg $\frac{Mn}{Mn}$ /Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Entzug					μg -Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,0000	22,3	499,4	117,4	864,8	36,2	30,8	235,0	156,5	66,5	475,2	
2	0,0075	18,7	398,1	100,0	720,5	29,6	26,6	215,4	119,1	60,9	370,3	
3	0,0450	15,9	361,2	84,6	643,1	25,4	24,4	224,2	101,7	38,1	339,5	
4	0,2700	29,3	526,8	143,1	948,0	45,1	35,9	368,4	169,2	127,4	565,2	
5	1,6200	36,1	553,8	152,4	982,8	44,2	34,4	362,9	165,2	219,6	507,7	
6	9,7200	37,8	564,9	155,8	983,6	45,8	31,6	355,5	173,4	554,2	636,0	
7	58,3200	42,4	650,5	168,7	1013,0	45,8	37,8	355,4	258,1	1722,6	570,9	
8	349,9200	28,7	620,5	139,8	871,6	31,4	29,3	311,3	212,5	4045,9	494,7	

Tabelle 37

Tomaten in FVC-Kultur 1962

Zn-Stelgerungsversuch, 2. Ernte Spieß

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. $\mu\text{g-Atom}\%$) und -entzüge (mg bzw. $\mu\text{g/Gefäß}$)

V.R.	Zn- Düng. mg Zn/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Atom %, Tr. S.				µg-Atom %, Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn
1	0,0000	24,2	116	19	31	51	6,6	471	9,6	134	107
2	0,0075	22,2	124	23	32	56	7,0	485	10,9	171	45
3	0,0375	18,4	130	26	31	68	8,1	595	10,7	170	72
4	0,1875	19,5	141	23	33	64	7,4	507	11,1	167	83
5	0,9375	19,1	139	20	30	63	7,9	547	10,9	165	90
6	4,6875	19,3	151	23	30	62	7,2	516	11,8	170	148
7	23,4375	21,7	123	20	25	55	8,2	569	13,5	134	219
8	117,1875	19,3	133	22	28	55	7,4	559	20,8	152	566

V.R.	Zn- Düng. mg Zn/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Entzug				µg-Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn
1	0,0000	24,2	393,0	145,4	288,8	490,6	38,9	1230,3	147,4	1781,2	1688,9
2	0,0075	22,2	385,3	157,9	275,5	499,7	37,6	1167,5	154,3	2086,3	654,5
3	0,0375	18,4	333,6	146,3	220,5	499,1	36,2	1183,2	125,1	1713,7	870,6
4	0,1875	19,5	386,0	141,2	254,0	499,8	34,9	1069,0	136,7	1788,9	1054,7
5	0,9375	19,1	372,4	120,2	223,2	484,5	36,6	1129,1	132,3	1730,5	1117,3
6	4,6875	19,3	407,0	139,3	224,1	481,6	33,7	1077,0	144,5	1802,8	1870,5
7	23,4375	21,7	373,7	135,3	215,3	480,9	43,5	1337,4	186,6	1595,0	3107,1
8	117,1875	19,3	360,4	133,5	210,8	425,3	34,6	1168,1	255,0	1611,5	7153,6

Tabelle 38

Tomaten in PVC-Kultur 1962

Zn-Steigerungsversuch, 2. Ernte Früchte

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. μg -Atom%) und -entzüge (mg bzw. μg /Gefäß)

V.R.	Zn-Düng. mg Zn/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Atom % Tr. S.						μg -Atom % Tr. S.					
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn			
1	0,0000	39,9	102	14	65	2,9	4,2	81	7,4	21	22			
2	0,0075	35,1	109	15	70	3,6	4,6	92	6,9	25	20			
3	0,0375	36,3	118	15	71	3,6	5,1	96	6,7	27	19			
4	0,1875	33,5	117	15	72	3,7	5,4	107	7,4	27	20			
5	0,9375	41,7	108	13	65	3,2	4,4	99	7,3	26	20			
6	4,6875	40,4	108	14	64	3,1	3,7	101	7,4	26	27			
7	23,4375	46,9	104	14	59	3,0	4,2	105	8,5	25	59			
8	117,1875	42,3	114	15	66	3,2	4,7	113	11,8	26	83			

V.R.	Zn-Düng. mg Zn/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Entzug						μg -Entzug					
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn			
1	0,0000	39,9	570,5	167,8	1010,4	47,2	41,3	351,5	188,2	471,5	572,6			
2	0,0075	35,1	537,7	160,2	961,5	51,0	39,3	349,8	154,9	487,0	451,4			
3	0,0375	36,3	599,6	164,5	1004,9	53,1	44,8	377,2	155,2	540,4	447,8			
4	0,1875	33,5	546,9	154,0	948,6	49,5	44,2	385,9	158,2	492,2	429,0			
5	0,9375	41,7	628,5	172,2	1054,8	52,7	44,4	447,4	192,9	595,5	546,7			
6	4,6875	40,4	608,0	174,4	1005,6	49,9	36,8	442,4	189,7	572,5	723,3			
7	23,4375	46,9	681,1	197,7	1087,4	56,6	47,3	529,9	253,2	653,6	1807,0			
8	117,1875	42,3	675,5	195,2	1087,6	53,9	48,5	515,8	316,8	608,8	2292,6			

Der Einfluß gesteigerter N-, B-, Cu-, Mn- und Zn-Gaben auf die Anzahl und das Gewicht der ausgebildeten Früchte und den Anteil der noch grünen Früchte bei Versuchsende:

Anzahl der Früchte pro Pflanze und Gewicht pro Frucht in g Fr.o.

	VR ₁	VR ₂	VR ₃	VR ₄	VR ₅	VR ₆	VR ₇	VR ₈
N	1,50 1,69	2,50 1,11	3,25 1,66	2,75 3,01	6,75 1,76	7,75 2,84	15,75 2,57	22,00 ^x AZ. 6,75 g/Fr.
B	-	-	-	0,50 0,86	13,25 2,25	19,50 1,80	17,75 2,11	24,50 AZ. 1,19 g/Fr.
Cu	20,75 2,06	17,00 2,42	13,25 2,35	18,00 2,65	24,00 2,06	27,25 1,67	25,00 1,74	21,00 ^x AZ. 2,20 g/Fr.
Mn	10,75 2,08	10,25 1,82	10,00 1,59	16,25 1,61	17,25 2,09	19,25 1,97	23,50 1,85	18,00 AZ. 1,59 g/Fr.
Zn	18,25 2,19	17,50 2,01	20,25 1,79	17,50 1,92	22,75 1,83	22,50 1,79	24,75 1,89	31,00 AZ. 1,36 g/Fr.

Anzahl der noch grünen Früchte pro Pflanze und ihr Anteil in % der Gesamternte bei Versuchsende

	VR ₁	VR ₂	VR ₃	VR ₄	VR ₅	VR ₆	VR ₇	VR ₈
N	0,50 33,33	1,25 50,00	2,00 61,5	1,75 63,6	5,00 74,1	3,50 43,2	11,00 69,8	20,00 ^x AZ. 90,9 %
B	-	-	-	-	5,75 43,4	10,00 51,3	9,00 50,7	14,75 AZ. 60,2 %
Cu	13,50 65,1	10,00 58,3	11,50 63,0	12,25 68,1	16,00 66,7	18,25 60,9	14,50 58,0	17,00 ^x AZ. 80,9 %
Mn	3,50 32,6	5,50 53,6	4,25 42,5	9,25 56,9	11,00 57,9	10,25 53,3	14,50 61,7	12,00 AZ. 60,7 %
Zn	12,50 68,5	10,00 57,2	11,00 54,3	9,75 55,7	11,50 50,6	13,25 58,9	16,25 65,7	20,75 AZ. 66,9 %

x) 1 Pflanze

Wenn auch - wie gesagt - die Konzentration der Grundnährstoffe überwiegend von der Ertragshöhe innerhalb der Versuchsreihen beeinflußt wird, so kommt es aber vereinzelt zu Gehaltswerten, die hiermit nicht erklärt werden können.

Ähnlich wie im Sandkulturversuch scheint die Phosphoraufnahme bei hoher Kupferdüngung (VR_8) deutlich gehemmt zu sein. Auffallend ist auch wiederum der hohe Kaliumgehalt und Kaliumentzug in VR_8 (Sproß) des Mangan- und Borversuches. Dieser Einfluß auf die Kaliumaufnahme wird auch durch das Ergebnis der 2. Ernte (Sproß + Früchte) bestätigt.

Die im Vergleich zu $N-VR_5$ erheblich niedrigeren Kalziumgehalte in den Pflanzen der $N-VR_1 - VR_{3/4}$ (starker Stickstoffmangel) treten besonders hervor, wenn man die Ergebnisse Sproß + Früchte insgesamt betrachtet:

$N-VR_1$	$N-VR_2$	$N-VR_3$	$N-VR_4$	$N-VR_5$	(Sproß + Früchte)
11,4	14,6	15,8	20,2	28,0	mg-Atom% Tr.S. Ca

Die gehemmte Kalziumaufnahme bei übermäßiger Mangan- und Kupferzufuhr (VR_8) kann auch im PVC-Kulturversuch beobachtet werden.

Bor scheint von den Pflanzen (Sproß) bei sehr hohen Zink- (weniger deutlich ausgeprägt) und Mangankonzentrationen im Nährmedium bevorzugt aufgenommen zu werden (s. Sandkulturversuch).

Hohe bis toxische Stickstoff- (VR_8) und Zinkgaben (VR_8) bewirken wie in den Sandkulturversuchen einen bedeutenden Anstieg des Kupfergehaltes sowohl im Sproß als auch in den Früchten (s. auch Entzüge).

Außer Stickstoff und Zink scheint im PVC-Kulturversuch ebenfalls Mangan einen ähnlichen Einfluß auf die Kupferaufnahme auszuüben. Andererseits ist bei hohem Kupferangebot der Mangan-gehalt sowohl im Sproß als auch in den Früchten erhöht.

Eine Zunahme der Zinkkonzentration im Pflanzengewebe (bes. im Sproß) kann in der VR_8 des Bor-, Mangan-, Stickstoff- und besonders des Kupferversuches festgestellt werden.

Wurzel-Gewichte lufttrocken in g

PVC 2. Ernte Tomaten:

	VR ₁	VR ₂	VR ₃	VR ₄	VR ₅	VR ₆	VR ₇	VR ₈	VR ₉
N	0,67	0,71	0,95	2,59	3,36	3,56	3,81	1,92	-
B	0,24	0,70	0,44	0,75	2,59	3,16	3,19	1,61	-
Cu	4,03	4,50	4,68	5,08	4,28	3,35	3,30	3,35	-
Mn	2,73	2,29	2,13	3,31	3,30	3,66	3,45	2,51	-
Zn	3,45	3,51	3,64	3,11	3,50	3,71	3,46	2,08	-

pH-Werte der einzelnen Kulturen bei Versuchsende

PVC Tomaten:

	VR ₁	VR ₂	VR ₃	VR ₄	VR ₅	VR ₆	VR ₇	VR ₈	VR ₉
N	7,7	8,0	7,9	7,9	7,8	7,5	7,5	6,9	7,5
B	6,6	7,1	7,2	7,1	7,4	7,4	7,4	7,5	7,7
Cu	7,7	7,8	7,5	7,8	7,7	7,3	7,0	7,4	7,1
Mn	6,9	7,0	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,1	6,5
Zn	7,3	7,5	7,1	7,2	7,0	7,0	7,2	6,9	7,0

3. Wasserkulturversuche 1961

Zu derselben Fragestellung wurden im gleichen Jahr entsprechende Wasserkulturversuche durchgeführt, und zwar mit Tomaten und Mais. Die hierfür verwendeten zylinderförmigen Gefäße bestanden aus schwarzgefärbtem Polystyrol und hatten ein Fassungsvermögen von 5 Liter. Um größere Temperaturschwankungen der Nährlösungen auf ein Minimum herabzusetzen, wurden die Gefäße in rechteckige verzinkte und mit Wasser gefüllte Behälter gestellt, die auf etwa 1 m hohen Holzböcken ruhten. Blechplatten aus gleichem Material mit Aussparungen zur Aufnahme der Gefäße dienten als Abdeckung der Wasserbehälter und sorgten für bessere Standfestigkeit sowie für gleichmäßige Abstände zwischen den Gefäßen. Die Höhe der Kühlbehälter war so gewählt, daß die Gefäße die Abdeckbleche ca. 4 cm überragten.

Vor dem Ansetzen der Versuche erfolgte eine gründliche Reinigung der dazu benötigten Behälter und Gefäße. Die letzteren wurden in verdünnter Salzsäure gewaschen und anschließend mit entmineralisiertem Wasser sorgfältig ausgespült.

a) Methodik und Versuchsbedingungen

Die Anzucht der Tomatenpflanzen für die Wasserkulturversuche entsprach der der Sandkulturversuche, die im einzelnen auf Seite 36 beschrieben wurde.

Da für die Wasserkultur etwas größere Pflanzen wünschenswert erschienen, erfolgte das Ansetzen dieser Versuche 11 Tage später als die Sandkultur. Am Tage vor dem Auspflanzen wurden die Tomaten den Anzuchtgefäßen entnommen, gewässert und die Wurzeln durch sorgfältiges Abspülen mit Wasser von den anhaftenden Bodenteilchen befreit. Die Polystyrolgefäße wurden mit den Nährlösungen - entsprechend dem Versuchsplan - gefüllt.

Die Makronährstoff-Stammlösung setzte sich folgendermaßen zusammen:

Stammlösung I

2 mol	KNO_3	202,2 g	} auf 10 l aufgefüllt
2 mol	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	472,3 g	
4 mol	NH_4NO_3	320,2 g	

Stammlösung II

2 mol KH_2PO_4	272,2 g	} auf 10 l aufgefüllt
0,06 mol $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	10,7 g	
1 mol NaCl	58,5 g	
1 mol $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	246,5 g	
4 mol KCl	298,2 g	

Stammlösung III

1 mol K_2SO_4	17,4 g	} auf 1 l aufgefüllt
2 mol $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	29,4 g	

Jedes Gefäß erhielt je 25 ml der Stammlösungen II und III (Stickstoffversuch), bzw. I und II (Mikronährstoffversuche). Außerdem wurden Lösungen von Eisen und Mikronährstoffen entsprechend dem Düngungsplan hinzugegeben.

Die Nährlösungen der Wasserkulturversuche enthielten bei einem Fassungsvermögen von 5 l pro Gefäß:

0,49 g	N	als	KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ u. NH_4NO_3
0,16 g	P	als	KH_2PO_4 u. $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$
0,78 g	K	als	KH_2PO_4 , KCl u. KNO_3 bzw. K_2SO_4
0,20 g	Ca	als	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ bzw. $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$
0,06 g	Mg	als	$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$
24,0 mg	Fe	als	Fe-chelat (12% Fe)
5,0 mg	Mn	als	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
2,0 mg	Zn	als	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$
1,0 mg	Cu	als	$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$
1,0 mg	B	als	H_3BO_3
0,1 mg	Mo	als	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$

Außer dem Eisenchelate handelte es sich ausschließlich um p.a. Substanzen.

Am 6.7.1961 erhielten die Mikronährstoffversuche zusätzlich 0,31 g Stickstoff als NH_4NO_3 .

Der im Versuch zur Steigerung gelangende Nährstoff wurde jeweils in der Grunddüngung weggelassen. Gesteigert wurden wiederum Stickstoff, Bor, Kupfer, Mangan und Zink in neun Stufen. Die in löslicher Form und in gleichen Verbindungen der Grunddüngung verabreichten Nährstoffgaben sind aus der nachfolgenden Tabelle zu ersehen:

Die gesteigerten Stickstoff-, Bor-, Kupfer-, Mangan- und Zinkgaben in den Wasserkulturversuchen 1961

VR mg pro Gefäß	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N	0	50	100	200	400	800	1600	3200	6400
B _{Tom.}	0	0,02	0,06	0,18	0,54	1,62	4,86	14,58	43,74
B _{Mais}	0	0,03	0,09	0,27	0,81	2,43	7,29	21,87	65,61
Cu	0	0,01	0,03	0,09	0,27	0,81	2,43	7,29	21,87
Mn	0	0,10	0,30	0,90	2,70	8,10	24,30	72,90	218,70
Zn	0	0,05	0,15	0,45	1,35	4,05	12,15	36,45	109,35

Am 27.6.1961 erfolgte das Einpflanzen von je 2 Tomaten in die vorbereiteten Wasserkulturgefäße. Hierzu wurden kleine, sorgfältig gewaschene Schaumgummistreifen (50 mm x 12 mm x 3 mm) derart um den Sproß gewickelt, daß die Pflanze nach dem Einsetzen in die Gefäßdeckel einen sicheren Halt hatten und mit den Wurzeln in die Nährlösung hineinragte. Für diese Zwecke und zum Belüften waren die Deckel, die ebenfalls aus Polystyrol oder aus paraffiniertem Holz bestanden und die Gefäße gut abdeckten, mit entsprechenden Löchern versehen. Die Belüftung der Nährlösungen mit Preßluft wurde zweimal täglich über ein entsprechend installiertes Belüftungssystem vorgenommen. Der pH-Wert der Nährlösungen lag zu Beginn des Versuches bei 6.

b) Wachstumsbeobachtungen (Wasserkulturversuch mit Tomaten 1961)

Das Einsetzen der Tomaten in die Wasserkulturgefäße erfolgte am 27.6.1961. Die Pflanzen benötigten nur eine kurze Zeit (1 bis 2 Tage), sich dem neuen Nährmedium anzupassen.

Stickstoff:

wie im Sandkulturversuch stellen sich auch hier nach wenigen Tagen Stickstoffmangelercheinungen in VR₁ ein (4.7.1961), die bald in gewissen zeitlichen Abständen auch in den folgenden Versuchsreihen zunehmend in abgeschwächter Form auftreten (VR₅ am 2.8.1961). Wiederum beginnen sich die unter Stickstoffmangel leidenden Pflanzen u.a. aufzuhellen, und es läßt nicht lange auf sich warten, bis die älteren Blätter vergilben und schließlich absterben, während es im jüngsten Blattgewebe noch zu einer - wenn auch unzureichenden Chlorophyllausbildung kommt. In VR₆ und VR₇ gedeihen die Pflanzen am günstigsten. Die durch hohe N-Gaben (3200 u. 6400 mgN/Gefäß) hervorgerufenen Wachstumsdepressionen beginnen in VR₈ und treten in VR₉ verstärkt auf. Die Pflanzen erreichen nicht die Höhe und Masse der beiden vorangehenden Versuchsreihen und zeigen einen mehr oder weniger gestauchten Habitus. Das Blattgrün wirkt sehr intensiv, und die Blätter (nicht die jüngsten) sind teilweise stark nach unten gerollt; braune Flecken (Nekrosen) bilden sich an Sproß und Blättern und hier besonders an den Blattstielen aus (10.7. bis 18.7.1961). Schließlich sind Vergilbungen - zunächst nur an den älteren Blättern - später aber auch an den jüngeren zu erkennen, und das Blattgewebe stirbt teilweise ab (24.7.1961).

Die Ausbildung der Fruchtstände sowie die Blütenzahl und Blütengröße nehmen von VR₁ nach VR₇ deutlich zu. Blühverzögerungen und Störungen im Fruchtansatz treten an den Pflanzen der VR₈ hervor; in VR₉ verlieren sie schließlich die Blüten vorzeitig, und es kommt zu keiner Fruchtbildung.

Bor:

Auch in der Bor-Versuchsreihe machen sich in kurzer Zeit (4.7. 1961) Bor-Mangelsymptome in VR₁ (ohne zusätzliches Bor) bemerkbar: Aufhellung der Pflanzen, die Blätter sind leicht gerollt und stehen etwas steiler nach oben gerichtet (Starrtracht), das Wachstum des Hauptsprosses bleibt zurück und wird schließlich ganz eingestellt, verstärkte Seitentriebbildung und "Glasigkeit" der gesamten Pflanze (leichtes Abbrechen von Pflanzenteilen), stärkeres Vergilben der älteren Blätter (bläulich gelb) von innen nach außen, aber auch in umgekehrter Richtung. Der Bor-Mangel erstreckt sich unter Abschwächung in den ersten vier Wochen bis VR₃ (0,06 mgB/Gefäß) einschließlich und tritt später, zumindest auch noch geringfügig, in VR₄ (0,18 mgB/Gefäß) auf.

Zwischen den Pflanzen der VR₅ und VR₇ (0,54-4,86 mgB/Gefäß) sind keine deutlichen Unterschiede in ihrer Gesamtentwicklung erkennbar. Die hohen Bor-Gaben (14,58 und 43,74 mgB/Gefäß) rufen zunächst, besonders in VR₈ keine stärkeren Wachstumsdepressionen hervor. Die älteren Blätter der Tomaten in VR₉ sind anfangs etwas aufgehellt und eingerollt und zeigen bald örtlich (Blattrand und besonders Blattspitzen) gelbbraune bis braune Flecken, die sich im Laufe der Vegetationszeit noch erheblich vergrößern und ^{zur} Zerstörung des Blattgewebes führen. In VR₈ treten diese Symptome bedeutend schwächer, aber dennoch deutlich, in Erscheinung.

Bei stärkerem Bor-Mangel kommt es in VR₁ wohl noch zur Ausbildung der Blütenknospen (erster Blütenstand ähnlich Sandkultur), die jedoch nicht aufblühen und abfallen. Die Blütenentwicklung und der Fruchtausatz sind auch in VR₂ und VR₃ noch sehr mäßig; ein deutliches Abklingen dieser Bor-Mangelschäden ist erst ab VR₄ zu erkennen. Die Blütenfarbe nimmt von VR₂ (blaßgelb) nach VR₅ (goldgelb) an Intensität zu. VR₅, VR₆ und VR₇ zeigen auch hier keine auffallenden Unterschiede. Blühverzögerungen treten in VR₈ und stärker betont in VR₉ auf, in der auch der Fruchtausatz und Fruchtausbildung gehemmt ist. Gegen Ende des Versuches setzt, durch zunehmenden Ertragszuwachs hervorgerufen, eine Milderung der Bor-Überschußsymptome ein.

Kupfer:

Während in den ersten Tagen keine Kupfermangelsymptome sichtbar werden, treten aber bereits deutliche wachstumsstörungen in VR₉ (21,87 mgCu/Gefäß) hervor, deren Merkmale sich anfangs noch verstärken, später jedoch wieder bis zu einem gewissen Grad überdeckt werden: Die gesamte Pflanze ist aufgehellte, die unteren Blätter sind überwiegend hellgrün bis gelb und bekommen braune Flecken, auch sterben sie teilweise ab; das gesamte Wachstum der Pflanze ist stark reduziert. Diese Kupfer-Überschußsymptome verschwinden in VR₈ (7,29 mgCu/Gefäß) fast völlig - besonders in der zweiten Hälfte der Vegetationszeit. Nach etwa zwei Wochen zeigen sich dann aber auch Kupfer-Mangelerscheinungen, besonders in VR₁ (ohne zusätzlichem Kupfer) und in abgeschwächter Form in VR₂ (0,01 mgCu/Gefäß) und VR₃ (0,03 mgCu/Gefäß): stärkeres Einrollen der älteren, später auch der jüngeren Blätter. Bei betontem Kupfermangel (VR₁) und Kupferüberschuß (VR₉) treten Blühverzögerungen auf, Blüten fallen ab (VR₁) und der Fruchtansatz ist offensichtlich geringer als in den übrigen Versuchsreihen (VR₂ bis VR₈).

Mangan:

Ebenso kommen im Manganversuch die charakteristischen pathologischen Symptome bei Manganüberschuß früher (4.7.1961) zum Vorschein als bei Manganmangel (14.7.1961). Die Pflanzen der VR₉ (218,7 mgMn/Gefäß) bleiben nach kurzer Versuchsdauer im Wachstum merklich zurück, jüngere Blätter sind etwas aufgehellte (gewisse Marmorierung), über die gesamte Oberfläche älterer Blätter haben sich kleine braune Flecken verteilt, die sich im Laufe der Zeit noch zahlen- und flächenmäßig vergrößern. Die VR₈ (72,9 mgMn/Gefäß) leidet nur geringfügig unter der hohen Mangangabe, was auch durch die Höhe der Ernteerträge deutlich zum Ausdruck kommt. Manganmangel ähnelt in seinem Krankheitsbild dem von Manganüberschuß, jedoch ist die Marmorierung (dunkelgrün bis hellgrün) deutlicher ausgeprägt, die oberen Blätter sind nicht so gleichmäßig aufgehellte und die braunen Flecken in der Nähe der Blattadern, die dunkelgrün bleiben, an Zahl und Größe vermindert. In VR₉ treten außerdem Blühverzögerungen auf, und die

Fruchtentwicklung ist erheblich gehemmt. Ebenso führt Mangan-Mangel zur Ausbildung kleinerer Früchte und zu Befruchtungsstörungen (Blüten fallen ab).

Zink:

Die ersten sicher erkennbaren Mangelercheinungen treten im Zinkversuch in VR₁ noch später auf (18.7.1961) als in den übrigen vergleichbaren Versuchen. Zink-Mangel - u.a. vermindertes Wachstum, schmutzig grüne Farbe der Blätter - kann man schließlich von VR₁ bis VR₃ (0 bis 0,15 mgZn/Gefäß) in zunehmend abgeschwächter Form feststellen. Während in VR₁ sowohl der Sproß als auch der Fruchtertrag deutlich unter dem Ertragsoptimum (VR₅ und VR₆ = 1,35 mg und 4,05 mgZn/Gefäß) liegen, wird bei abgeschwächtem Zinkmangel, besonders der Sproßertrag negativ beeinflusst. Wie in den anderen Versuchen rufen hohe Zinkgaben (36,45 und 109,35 mgZn/Gefäß) ebenfalls in sehr kurzer Zeit Wachstumsdepressionen hervor; die Blätter in VR₈ und besonders in VR₉ sind etwas zusammengerollt, jüngere Blätter zeigen vom Blattstiel her eine deutlich sichtbare Aufhellung (Marmorierung: grün - mittelgrün, später mittelgrün - hellgrün); Blühverzögerungen und das Abfallen von Blüten kann beobachtet werden.

Die Überschußdepressionen und die damit verbundenen Ertragsausfälle sind in VR₈ minimal, dagegen kommen sie stark in VR₉ zum Ausdruck.

Für alle Wasserkulturversuche mit Tomaten erfolgte am 27.7. 1961 die erste Ernte (nur Sproß) und am 10.8.1961 die zweite (Sproß und Früchte). Der geringe Abstand zwischen den beiden Ernten war dadurch bedingt, daß die Nährlösung während der gesamten Versuchsdauer nicht ein einziges Mal erneuert wurde, um den Mangel der betreffenden gesteigerten Elemente zu begünstigen. Etwa zum zweiten Erntezeitpunkt war ein gesundes und normales Pflanzenwachstum in Frage gestellt. Die Früchte waren unter diesen Voraussetzungen verständlicherweise noch grün.

c) Versuchsergebnisse:

Ertrag, Nährstoffgehalt und Nährstoffentzug

1. Ernte

Nach einer Versuchsdauer von 30 Tagen wurde am 27.7.1961 die 1. Ernte (Sproß) vorgenommen. Die Tomatenpflanzen erreichten zu diesem Zeitpunkt den Höchstertrag in der VR₆ (B) bzw. VR₇ (Cu, Mn, Zn), der im Durchschnitt der vier Mikronährstoffversuche 6,7 g Trockensubstanz (5,5 - 7,7 g Tr.S.) pro Gefäß betrug. Bezieht man den Stickstoffversuch mit ein, so kommt nur der Ertrag der N-VR₆ mit 7,2 g Tr.S. in Frage, da die Stickstoffgabe dieser Versuchsreihe der Grunddüngung der Mikronährstoffversuche entsprach. Unter dieser Voraussetzung steigt der Mittelwert des Höchstertrages geringfügig, und zwar auf 6,8 g Tr.S./Gefäß an.

Die Erträge der einzelnen Versuche, die in Abb. 9 in Form von Ertragskurven wiedergegeben sind, können der Tabelle 45 (S. 147) entnommen werden.

Stickstoff: Die Stickstoffertragskurve ähnelt in ihrem Gesamtverlauf sehr derjenigen des Sand- und PVC-Kulturversuches. Der Ertrag steigt in der ersten Hälfte des Mangelbereiches nur langsam, anschließend jedoch um so steiler an. Das Ertragsoptimum hält sich in engen Grenzen (VR₇) und ist im Vergleich zu den Mikronährstoffen schmal. Bei weiterer Stickstoffzufuhr über das Ertragsmaximum fällt der Ertrag sehr schnell ab.

Bor: Durch die gleichmäßigere Verteilung und der damit verbundenen besseren Verfügbarkeit des Bors kommt es im Wasserkulturversuch - ähnlich wie im Bor-PVC-Kulturversuch 1. Ernte - nicht zu diesen extremen Ertragsunterschieden zwischen den Versuchsreihen mit sehr starkem und abgeschwächtem Bormangel wie im Sandkulturversuch, sondern der Ertrag steigt bis VR₄ kontinuierlich an. Gleichzeitig sind die Ertragsdepressionen in VR₈ und VR₉ bei offensichtlichem, aber nicht stark toxisch wirkendem Borüberschuß relativ gering.

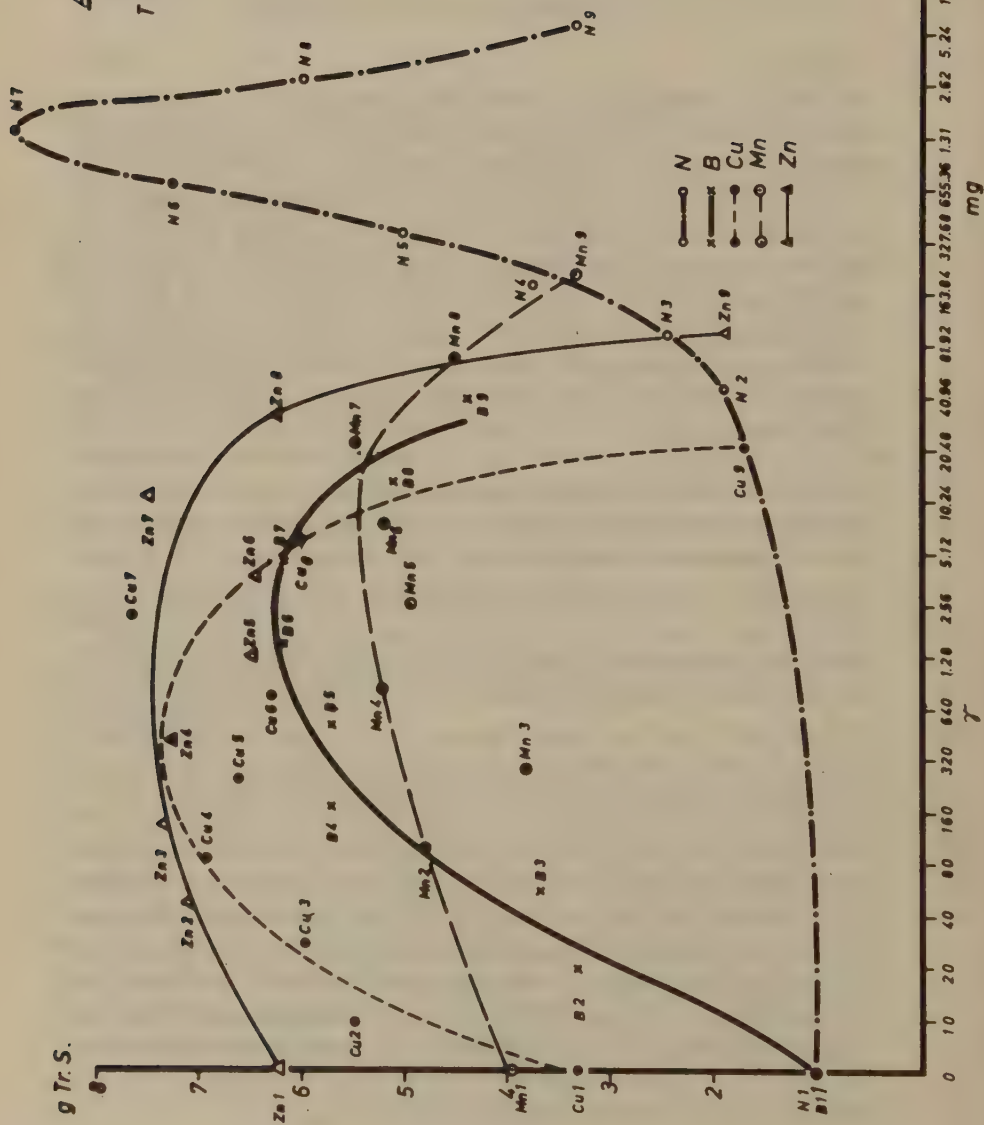
Kupfer: Nach Stickstoff- und Bor- ist unter den gegebenen Ver-

g Tr. S.

Abb. 9

WK 1. E.

Tom. Sproß



suchsbedingungen der Kupfermangel in seiner Auswirkung an dritter Stelle zu nennen, durch den es in VR_1 zu erheblichem Ertragsausfall kommt. Der Ertragsanstieg durch gesteigerte Kupfergaben ($VR_1 - VR_4$) gleicht etwa dem des Borversuches ($VR_2 - VR_4$). Das Ertragsoptimum liegt zwischen VR_4 und VR_8 (Bor: $VR_4 - VR_7$). Die durch toxische Kupferkonzentrationen hervorgerufenen Wachstumshemmungen und die hierdurch verursachte geringe Substanzbildung in VR_9 des Kupferversuches spiegelt sich im letzten Abschnitt der Kupferertragskurve wieder.

Mangan: Im Manganversuch wird nicht das Ertragsniveau der übrigen vier Versuchsreihen (N, B, Cu, Zn) erreicht. Daher ist der Ertragsanstieg von VR_1 nach VR_7 relativ gering. Höhere Mangangaben als 72,9 mg/Mn/Gefäß bewirken einen deutlichen Ertragsabfall. Die Wachstumshemmungen in Mn- VR_9 sind ertragsmäßig mit denjenigen des Stickstoffversuches in VR_9 vergleichbar.

Zink: Der Zinkmangel ist in VR_1 des Zinkversuches nur sehr schwach ausgeprägt. Die Zinkertragskurve verläuft von VR_2 bis VR_8 fast gradlinig ohne größere Veränderungen parallel zur Abszisse, wenn man von den sehr wahrscheinlich zufallsbedingten Ertragsschwankungen absieht. Die Ertragsdepressionen in VR_9 entsprechen etwa denen des Kupferversuches.

Während die Stickstoffertragskurve beiderseits des Ertragsmaximums s-förmig verläuft, kann dies für den linken Ast (Ertragsanstieg) der Mikronährstoffertragskurven unter den gegebenen Versuchsbedingungen nicht bestätigt werden.

Obwohl die Ertragsbildung bei starkem Bormangel in VR_1 derjenigen der N- VR_1 entspricht, lassen die nachfolgenden durch Borsteigerungen bedingten Erträge bis zum Ertragsmaximum diese S-förmigkeit z.Zt. der 1. Ernte nicht erkennen.

Die nachfolgenden ppm-Werte geben die Konzentrationen der variierten Elemente in den Nährlösungen (5 l/Gefäß) des Wasserkulturversuches mit Tomaten an, wenn man von den Mikronährstoffverunreinigungen der Grundnährlösung absieht.

Bei den angekreuzten (+) Konzentrationen wurden zu diesem Zeitpunkt die Höchsterträge innerhalb der einzelnen Versuche festgestellt.

VR	N	B	Cu	Mn	Zn
1	0	0	0	0	0
2	10	0,004	0,002	0,020	0,010
3	20	0,012	0,006	0,060	<u>0,030</u>
4	40	0,036	<u>0,018</u>	<u>0,180</u>	0,090
5	80	<u>0,108⁺⁺</u>	0,054	0,540	0,270
6	160	0,324 ⁺	0,162	1,620	0,810 ⁺⁺
7	<u>320⁺⁺</u>	0,972	0,486 ⁺	4,860 ⁺⁺	2,430 ⁺
8	640	2,916	1,458 ⁺⁺	14,580	7,290
9	1280	8,748	4,374	43,740	21,870

Diese Nährstoffkonzentrationen entsprechen jedoch weniger dem Bedarf der Tomatenpflanzen für ein normales Wachstum, vielmehr geben sie Auskunft über die Grenzen der Nährstoffverträglichkeit der Pflanzen gegenüber N, B, Cu, Mn und Zn (s. Erträge innerhalb des Optimalbereiches), denn die nächst höhere Gabe dieser Nährstoffe verursacht, wenn man von Bor absieht, bereits Ertragsdepressionen, die im Kupfer- und Zinkversuch minimal sind.

Die unterstrichenen Werte stellen die Konzentrationen dar, die unter den gegebenen Bedingungen für ein normales Wachstum völlig ausreichen.

Mit der Erhöhung der Nährstoffkonzentrationen in den Nährlösungen nimmt der Gehalt von Stickstoff und Mangan in den Pflanzen von VR₁ - VR₉ kontinuierlich zu. Nicht ganz so eindeutig ist der Anstieg des Zinkgehaltes von VR₁ - VR₃. Während sich die Kupferkonzentration in den Tomatensprossen von VR₁ - VR₃ praktisch nicht verändert, nehmen die Borgehalte von VR₁ - VR_{2/3} sogar geringfügig ab. Eine verstärkte Aufnahme von B, Cu bzw. Zn kann jedoch ab VR₄ festgestellt werden. Die höchsten Gehaltswerte von N, B, Cu, Mn und Zn werden natürlich auch hier in den Pflanzen der VR₉ gefunden (siehe Tabelle 45, S. 147).

Z. Zt. der 1. Ernte schwanken die Konzentrationen der variierten Elemente in der Pflanzensubstanz (Sproß) der betreffenden Versuche zwischen:

VR ₁	7,9 -	81,5 mg	N/g	Tr.S.	VR ₉
VR ₂	6,9 -	400,3 ug	B/g	" "	"
VR ₁	1,1 -	121,4 ug	Cu/g	" "	"
VR ₁	11,6 -	3601,4 ug	Mn/g	" "	"
VR ₁	15,5 -	1893,7 ug	Zn/g	" "	"

Den niedrigsten Gehalt der gesteigerten Nährstoffe hatten also - von Bor abgesehen - die Tomaten der VR₁ (= Kontrolle, die keine Düngung mit dem variierten Element erhielt). Die Trockensubstanzbildung des N- und B-Versuches war am stärksten eingeschränkt. In VR₉ riefen Zink und Kupfer (1,8 bzw. 1,7 g Tr.S./Gefäß) die größten, Bor (4,4 g Tr.S./Gefäß) die geringsten Wachstumsschäden hervor.

Wie schon aus den Erträgen und den Gehalten der gesteigerten Nährstoffe klar ersichtlich wird, steigen die Entzüge dieser Elemente mit ihrer Erhöhung im Nährmedium deutlich an. Die Stickstoff- und Zinkaufnahme (Entzug) erreicht in VR₈ bei leichten bis mäßigen Ertragsdepressionen ihr Maximum (s. Sand- und PVC-Kulturversuche), während die Bor-, Kupfer- und Manganaufnahme (Entzug) in VR₉ bei mittleren bis schweren Wachstumshemmungen am stärksten war.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über den Einfluß hoher Gaben und hoher Konzentrationen der gesteigerten Elemente auf den Pflanzenertrag und den Gehalt und Entzug dieser Nährstoffe z.Zt. der 1. Ernte.

Die unterschiedliche Aufnahme der variierten Nährstoffe in VR₈ und VR₉ geht aus diesen Ergebnissen klar hervor. Zink wird relativ am stärksten, Kupfer relativ am schwächsten aufgenommen. Dazwischen liegen Mangan, Stickstoff und Bor. Ein ähnliches Bild ergibt sich für die prozentuale N-, B-, Cu-, Mn- und Zn-Aufnahme (Entzug) bezogen auf die zu Beginn des Versuches verabreichten jeweiligen Mengen dieser Elemente pro Gefäß, wenn es auch zu geringfügigen Abweichungen in der Reihenfolge kommt. Zu einem gewissen Grad scheinen diese Verschiebungen auf die unterschiedliche toxische Wirkung der gesteigerten Nährstoffe und somit auf den verschiedenen Pflanzenertrag zurückzuführen zu sein.

Die in der Tabelle 39 unterstrichenen Werte stellen die höchsten Entzüge der gesteigerten Elemente des Wasserkulturversuches z.Zt. der 1.Ernte dar.

Tabelle 39

Der Einfluß hoher bis sehr hoher N-, B-, Cu-, Mn- und Zn-Konzentrationen auf den Ertrag und die Aufnahme dieser Nährstoffe (Wasserkulturversuch mit Tomaten 1961 1.Ernte: Sproß):

N	B	Cu	Mn	Zn
<u>VR₈</u>				
6,0	5,0	6,0	4,5	6,2 g Tr.S./Gefäß
640	2,9	1,5	14,6	7,3 ppm i.d.NL
62780	175,4	22,6	1703,9	1089,0 ppm i.d.Tr.S.
92:1	60:1	15:1	117:1	147:1 Konz.i.d.Tr.S. gegenüb.d.NL
3200	14,6	7,3	72,9	36,5 mg/Gef.(Düngung)
<u>373,4</u>	886,9	136,4	7667,2	<u>6783,5</u> mg bzw.ug/Gef.(Entz.)
11,4	6,0	1,8	10,5	18,6 % Aufn.(Entzug) d. Düngung/Gefäß
<u>VR₉</u>				
3,3	4,4	1,7	3,3	1,8 g Tr.S./Gefäß
1280	8,7	4,4	43,7	21,9 ppm i.d.NL
81490	400,3	121,4	3601,4	1893,7 ppm i.d.Tr.S.
68:1	46:1	28:1	82:1	87:1 Konz.i.d.Tr.S. gegenüb.d.NL
6400	43,7	21,9	218,7	109,4 mg/Gef.(Düngung)
269,2	<u>1748,4</u>	203,0	<u>11871,6</u>	3480,1 mg bzw.ug/Gef.(Entz.)
4,1	4,0	0,9	5,4	3,1 % Aufn.(Entzug) d. Düngung/Gefäß

Die Gehaltsveränderungen der nicht variierten Nährstoffe in den Pflanzen sind auch in den Wasserkulturversuchen überwiegend auf die von den gesteigerten Elementen beeinflussten Erträge zurückzuführen. Aber auch hier kommt es bei starkem Nährstoffmangel bzw. -überschuß zu Verschiebungen in der Nährstoffaufnahme, die nicht immer eindeutig sind (siehe Tabelle 40-44, S.137ff).

Tabelle 40

Tomaten in Wasserkultur 1961

N-Steigerungsversuch, 1. Ernte sprob

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. µg-Atom%) und -entzüge (mg bzw. µg/Gefäß)

V.R.	N- mg	Düng. in Gef.	Ertrag/Gel. g. Tr. S.	mg-Atom %, Tr. S.					µg-Atom %, Tr. S.				
				N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0		1,0	56	19	87	18	10,2	288	8,6	283	10,4	
2	50		1,9	74	18	90	17	10,6	345	8,6	344	10,0	
3	100		2,4	91	16	87	15	10,0	361	7,6	252	8,9	
4	200		3,7	128	14	81	15	8,2	301	8,2	234	8,3	
5	400		5,0	172	14	79	16	7,6	275	8,1	235	7,6	
6	800		7,2	220	15	89	16	8,0	268	8,2	232	7,5	
7	1600		8,8	299	16	87	13	7,0	270	9,3	206	7,4	
8	3200		6,0	448	23	100	11	5,8	369	12,3	187	8,1	
9	6400		3,3	582	13	65	11	5,6	471	18,8	181	12,1	

V.R.	N- mg	Düng. in Gef.	Ertrag/Gel. g. Tr. S.	mg-Entzug					µg-Entzug				
				N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0		1,0	8,1	6,0	34,8	7,2	2,5	31,8	5,6	158,9	69,7	
2	50		1,9	19,3	10,1	66,1	13,1	4,8	69,7	10,2	353,3	129,0	
3	100		2,4	30,7	12,1	82,6	14,5	5,9	94,6	11,8	335,4	141,1	
4	200		3,7	66,6	16,6	117,6	22,6	7,4	121,2	19,4	477,6	200,5	
5	400		5,0	120,3	21,1	154,1	31,3	9,2	148,3	25,5	644,0	247,9	
6	800		7,2	222,6	33,1	251,6	45,2	14,1	210,1	37,6	922,1	355,5	
7	1600		8,8	366,5	43,5	296,7	46,9	14,9	255,3	51,7	990,5	423,9	
8	3200		6,0	373,4	43,2	232,2	25,5	8,4	237,4	46,5	609,7	316,2	
9	6400		3,3	269,2	13,5	83,8	13,9	4,5	168,5	39,4	327,8	261,8	

Tabelle 41

Tomaten in Wasserkultur 1961

B-Steigerungsversuch, 1. Ernte Sproß

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. μg -Atom $\%$) und -entzüge (mg bzw. μg /Gefäß)

V.R.	B-Düng. mg B/Gel.	Ertrag/Gel. g Tr. S.	mg- Atom %, Tr. S.						µg- Atom %, Tr. S.					
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn			
1	0,00	1,0	227	14	86	29	18,7	81	6,0	362	90			
2	0,02	3,3	247	16	105	23	13,8	64	12,8	347	82			
3	0,06	3,7	241	16	101	21	12,1	70	10,9	329	84			
4	0,18	5,7	216	14	94	19	10,4	98	8,8	281	72			
5	0,54	5,7	189	14	91	17	8,8	165	8,2	268	65			
6	1,62	6,2	195	14	91	17	8,9	341	9,4	261	67			
7	4,86	6,2	203	14	89	17	9,1	632	8,9	282	67			
8	14,58	5,1	209	15	91	19	10,5	1621	8,8	291	70			
9	43,74	4,4	239	19	109	20	11,8	3699	11,2	331	84			

V.R.	B-Düng. mg B/Gel.	Ertrag/Gel. g Tr. S.	mg- Entzug						µg- Entzug					
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn			
1	0,00	1,0	31,5	4,2	33,3	11,6	4,5	8,6	3,8	197,1	58,6			
2	0,02	3,3	113,7	16,6	134,9	30,5	11,0	22,7	26,7	627,7	176,6			
3	0,06	3,7	123,4	18,2	145,0	30,7	10,7	27,8	25,4	661,2	199,9			
4	0,18	5,7	172,6	25,3	209,7	42,6	14,4	60,5	31,7	878,9	269,2			
5	0,54	5,7	150,1	24,8	201,3	37,7	12,2	101,4	29,6	835,4	239,8			
6	1,62	6,2	168,8	26,9	220,1	41,9	13,4	227,9	36,9	886,1	270,4			
7	4,86	6,2	175,3	27,6	214,2	41,8	13,7	421,7	34,9	955,6	269,0			
8	14,58	5,1	147,8	23,8	179,7	37,7	12,9	886,9	28,2	808,0	232,5			
9	43,74	4,4	146,0	25,1	186,6	35,0	12,6	1748,4	31,2	794,4	240,1			

Tabelle 42

Tomaten in Wasserkultur 1961

Cu-Steigerungsversuch, 1. Ernte Spross

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. µg-Atom%) und -entzüge (mg- bzw. µg-/Ger.)

V.R.	Cu- Düng. mg Cu/ Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg - Atom %, Tr. S.					µg - Atom %, Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	3,3	318	22	139	29	20	345	1,6	488	80	
2	0,01	5,5	259	17	115	21	14	283	1,9	352	70	
3	0,03	6,0	250	16	106	20	13	280	1,8	348	68	
4	0,09	6,9	212	14	95	18	12	271	2,8	299	60	
5	0,27	6,6	214	14	91	18	12	264	4,7	297	64	
6	0,81	6,3	221	14	92	19	11	273	6,6	317	62	
7	2,43	7,7	228	14	95	19	12	267	13,8	318	103	
8	7,29	6,0	226	14	86	20	12	296	35,5	348	142	
9	21,87	1,7	247	16	96	22	13	427	191,0	218	105	
V.R.	Cu- Düng. mg Cu/ Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg - Entzug					µg - Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	3,3	147,4	22,1	130,3	38,3	15,9	122,8	3,7	838,0	174,0	
2	0,01	5,5	197,9	28,2	245,7	46,2	18,8	166,9	6,6	1054,1	270,5	
3	0,03	6,0	208,2	29,0	245,6	47,9	18,6	180,4	6,8	1137,9	225,8	
4	0,09	6,9	205,3	31,0	258,6	51,3	19,5	203,1	12,1	1136,5	270,8	
5	0,27	6,6	199,4	29,2	237,9	48,5	19,1	188,8	19,8	1077,4	270,3	
6	0,81	6,3	194,2	27,2	226,1	48,1	17,4	185,8	26,4	1095,7	350,4	
7	2,43	7,7	244,3	33,9	284,7	58,5	21,8	221,4	66,9	1335,0	539,7	
8	7,29	6,0	191,4	26,5	204,1	49,4	18,0	193,3	136,4	1155,7	561,7	
9	21,87	1,7	57,8	8,4	63,0	14,6	5,5	77,2	203,0	249,6	113,2	

Tabelle 43

Tomaten in Wasserkultur 1961

Mn-Steigerungsversuch, 1. Ernte Sprob

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. µg-Atom%) und -entzüge (mg- bzw. µg/Gefäß)

V.R.	Mn-Düng. mg/Nüß/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Atom%, Tr. S.					µg-Atom%, Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,0	4,0	288	20	147	26	13,7	385	17,7	21	143	
2	0,1	4,8	215	15	96	18	10,5	265	11,7	28	87	
3	0,3	3,8	204	14	87	18	7,9	268	11,5	34	79	
4	0,9	5,2	196	15	85	17	8,1	242	12,0	67	97	
5	2,7	4,9	199	14	80	16	8,2	242	10,7	161	70	
6	8,1	5,2	217	14	84	18	8,9	263	10,0	688	73	
7	24,3	5,5	193	14	88	15	7,6	223	8,1	985	59	
8	72,9	4,5	208	15	91	14	8,6	249	7,4	3101	61	
9	218,7	3,3	249	18	121	15	8,3	310	8,6	6555	50	
V.R.	Mn-Düng. in mg/Nüß/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Entzug					µg-Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,0	4,0	161,5	24,8	229,7	41,8	13,3	166,5	45,0	46,5	374,0	
2	0,1	4,8	144,0	22,9	178,2	34,4	12,2	137,5	35,4	74,5	273,4	
3	0,3	3,8	108,9	17,0	130,3	27,4	7,3	110,7	28,0	72,3	198,3	
4	0,9	5,2	142,2	24,1	172,5	34,7	10,3	135,9	39,5	191,5	328,7	
5	2,7	4,9	138,0	21,8	154,9	31,6	9,9	129,3	33,6	435,6	225,7	
6	8,1	5,2	157,8	22,7	170,9	36,8	11,2	147,9	33,0	1903,3	247,0	
7	24,3	5,5	148,2	24,5	188,3	32,2	10,1	131,9	28,0	2903,6	212,7	
8	72,9	4,5	130,9	20,7	159,4	24,7	9,4	121,3	21,2	7667,2	179,0	
9	218,7	3,3	114,7	18,7	155,5	19,3	6,7	110,4	18,1	11371,6	121,5	

Tabelle 44

Tomaten in Wasserkultur 1961

Zn-Steigerungsversuch, 1. Ernte Sproß

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. µg-Atom%) und -entzüge (mg- bzw. µg-/Gef.-l.)

V.R.	Zn- Düng in mg Zn/Gef.	Ertrag/Gef. g. Tr. S.	mg- Atom % Tr. S.					µg- Atom % Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	6,2	229	20	78	20	14	237	6,2	347	24	
2	0,05	7,1	229	15	84	19	12	248	7,3	312	26	
3	0,15	7,4	220	15	86	20	12	248	6,9	328	25	
4	0,45	7,3	215	15	85	19	12	271	7,3	313	24	
5	1,35	6,5	233	15	91	19	12	273	8,9	306	28	
6	4,05	6,5	236	16	90	20	12	277	10,1	320	145	
7	12,15	7,5	228	16	89	19	12	285	9,5	314	459	
8	36,45	6,2	255	19	107	20	13	337	13,1	349	1660	
9	109,35	1,8	188	15	90	23	12	342	9,7	263	2896	
V.R.	Zn- Düng in mg Zn/Gef.	Ertrag/Gef. g. Tr. S.	mg- Entzug					µg- Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	6,2	198,7	37,7	188,4	49,5	20,5	158,8	24,2	1179,4	95,7	
2	0,05	7,1	228,2	53,9	234,1	55,1	20,9	191,0	32,8	1217,7	120,1	
3	0,15	7,4	226,7	34,5	248,0	58,8	22,1	197,2	32,4	1325,3	112,5	
4	0,45	7,3	219,1	33,0	242,7	56,3	21,7	213,3	33,8	1250,2	163,6	
5	1,35	6,5	211,2	30,2	230,4	49,6	19,2	191,0	36,6	1089,1	243,7	
6	4,05	6,5	213,4	31,2	226,9	51,3	19,2	193,6	41,3	1134,6	610,1	
7	12,15	7,5	239,4	36,7	262,6	58,2	21,1	231,7	45,5	1294,6	2154,8	
8	36,45	6,2	223,0	36,4	261,5	51,2	19,1	227,0	51,9	1193,4	6783,5	
9	109,35	1,8	48,5	8,6	65,0	16,9	5,2	68,0	11,3	165,5	3480,1	

Sehr hohe Stickstoffgaben fördern offensichtlich die Aufnahme von Phosphor (VR_8), Bor, Kupfer und Zink (VR_8 und VR_9), gleichzeitig werden Phosphor und Kalium (VR_9) sowie Mangan und besonders Kalzium und Magnesium (VR_8 und VR_9) in geringerer Konzentration in den Pflanzen gefunden.

Bei Bormangel (VR_1) werden z.B. Stickstoff, Phosphor, Kalium und Kupfer im Vergleich zu Kalzium, Magnesium, Mangan und Zink bedeutend schwächer aufgenommen.

In VR_1 des Kupferversuches kann man eine verstärkte Aufnahme fast aller Nährstoffe feststellen (vergleiche N- VR_4 , N- VR_9 , B- VR_2 , B- VR_3 , Mn- VR_3 und Mn- VR_9). Dagegen ist der Gehalt der Nährstoffe - wenn man von Bor absieht - in Cu- VR_9 relativ oder absolut niedrig.

Ähnlich wie in Cu- VR_1 sind die Nährstoffkonzentrationen in den Tomatenpflanzen der Mn- VR_1 im Vergleich zu den übrigen Manganversuchsvarianten recht hoch, während Kalzium, Magnesium, Kupfer und Zink in Mn- VR_8 und Mn- VR_9 relativ niedrige Werte erreichen.

Im Gegensatz zu Phosphor, Kalium, Kalzium, Magnesium und Kupfer, die kaum eine Veränderung erfahren, scheint die Stickstoff- und Manganaufnahme bei toxischen Zinkgaben (VR_9) erheblich herabgesetzt zu sein. Auffallend ist der Anstieg des Bor- und Kupfergehaltes von Zn- VR_1 - Zn- VR_8 .

Außerdem sind die Gehalte von Phosphor in B- VR_9 , Mn- VR_9 , Zn- VR_{1+8} , - von Kalium in Mn- VR_9 und Zn- VR_8 , - von Bor in Zn- VR_8 , - von Kupfer in Zn- VR_{7+8} - sowie von Zink in Cu- VR_{6-8} mehr oder weniger deutlich erhöht.

Die Abweichung in der Nährstoffaufnahme spiegelt sich zu einem großen Teil in den Nährstoffentzügen wieder, die im allgemeinen in den Versuchsreihen mit dem Höchstertrag oder innerhalb des Höchstertragsbereiches ihr Maximum erreichen.

2. Ernte

Der Wasserkulturversuch mit Tomaten wurde bereits am 10.8.1961 abgeschlossen. Zwischen der 1. und 2. Ernte lag also nur ein Zeitraum von 14 Tagen. Die Pflanzenerträge nahmen jedoch im zweiten Versuchsabschnitt noch beträchtlich zu und stiegen in den einzelnen Versuchen im Durchschnitt bis auf 14,8 g Trockensubstanz (11,4 - 17,5 g Tr.S.) pro Gefäß an.

Die Höchsterträge stellten sich im N-, B-, Cu-, Mn- und Zn-Versuch in VR₇, VR₅, VR₈, VR₇ und VR₆ ein und waren vermutlich in den drei zuletzt genannten Versuchen zufallsbedingt (vergleiche Erträge und Gehalte der gesteigerten Nährstoffe in der Tabelle 45, S. 147). Die Konzentration der variierten Elemente in den Nährlösungen, die den Höchstertrag hervorbrachten, sind auf Seite 134 doppelt angekreuzt (++) . Auch zur 2. Ernte blieben die Erträge (besonders Sproß) im Optimalbereich des Mn-Versuches im Vergleich zu den übrigen Versuchen merkwürdiger Weise zurück.

Die Grundform der Ertragskurve erfährt im allgemeinen keine wesentlichen Veränderungen, wie aus den Abb. 10-12 zu ersehen ist. Durch den bedeutenden Substanzzuwachs, besonders in den Versuchsvarianten des Optimalbereiches, tritt aber die Wirkung des Nährstoffmangels und der Nährstofftoxizität auf den Pflanzenertrag in fast allen Versuchen noch stärker hervor. Wie z. Zt. der 1. Ernte rufen die höchsten Borgaben an den Pflanzen der B-VR₉ relativ geringe Wachstumsschäden hervor, und in der Zn-VR₁ kommt es bei schwachem Zinkmangel nicht zu derartigen Ertragsausfällen wie in den vergleichbaren Versuchsreihen (VR₁) der übrigen Versuche, obwohl sich der Zinkmangel gegenüber der 1. Ernte relativ verstärkt.

Der s-förmige Verlauf der Ertragskurve vom Nährstoffmangel bis zur optimalen Nährstoffversorgung kann zur 2. Ernte auch für den Borversuch bestätigt werden.

Der Sproßertrag liegt in allen Varianten des gesamten Wasserkulturversuches bedeutend höher als der Fruchtertrag. Eine Ausnahme macht jedoch der Manganversuch (s. Tabelle 45, S. 147).

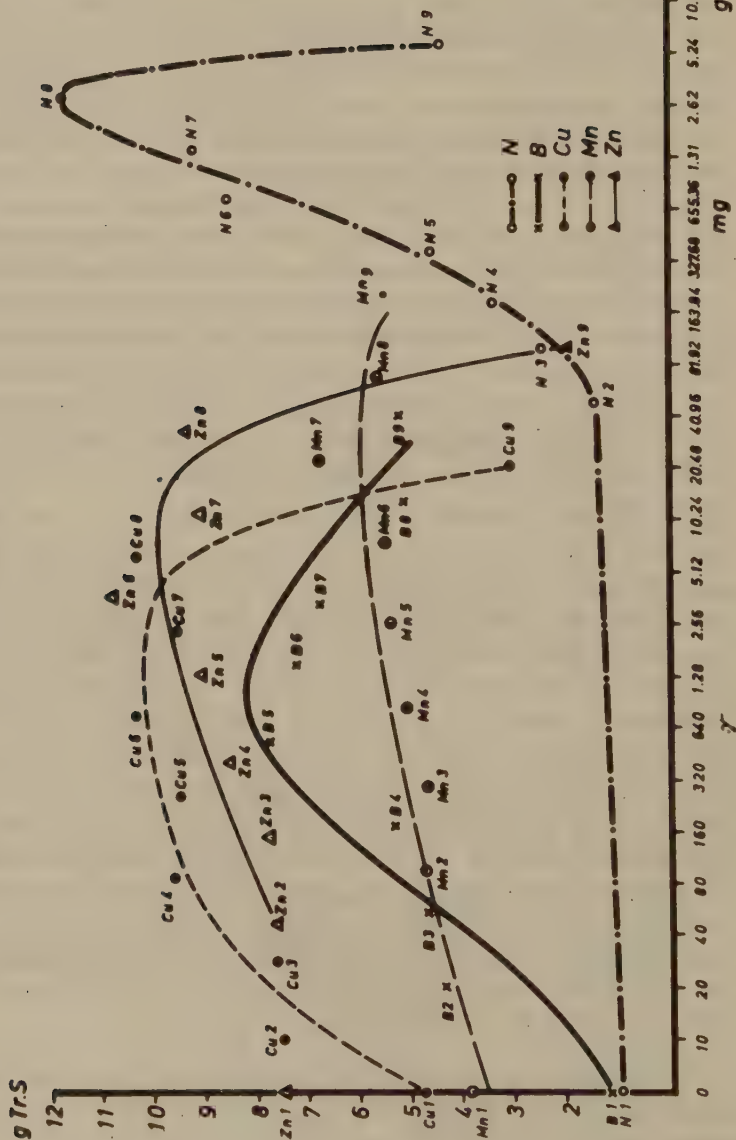
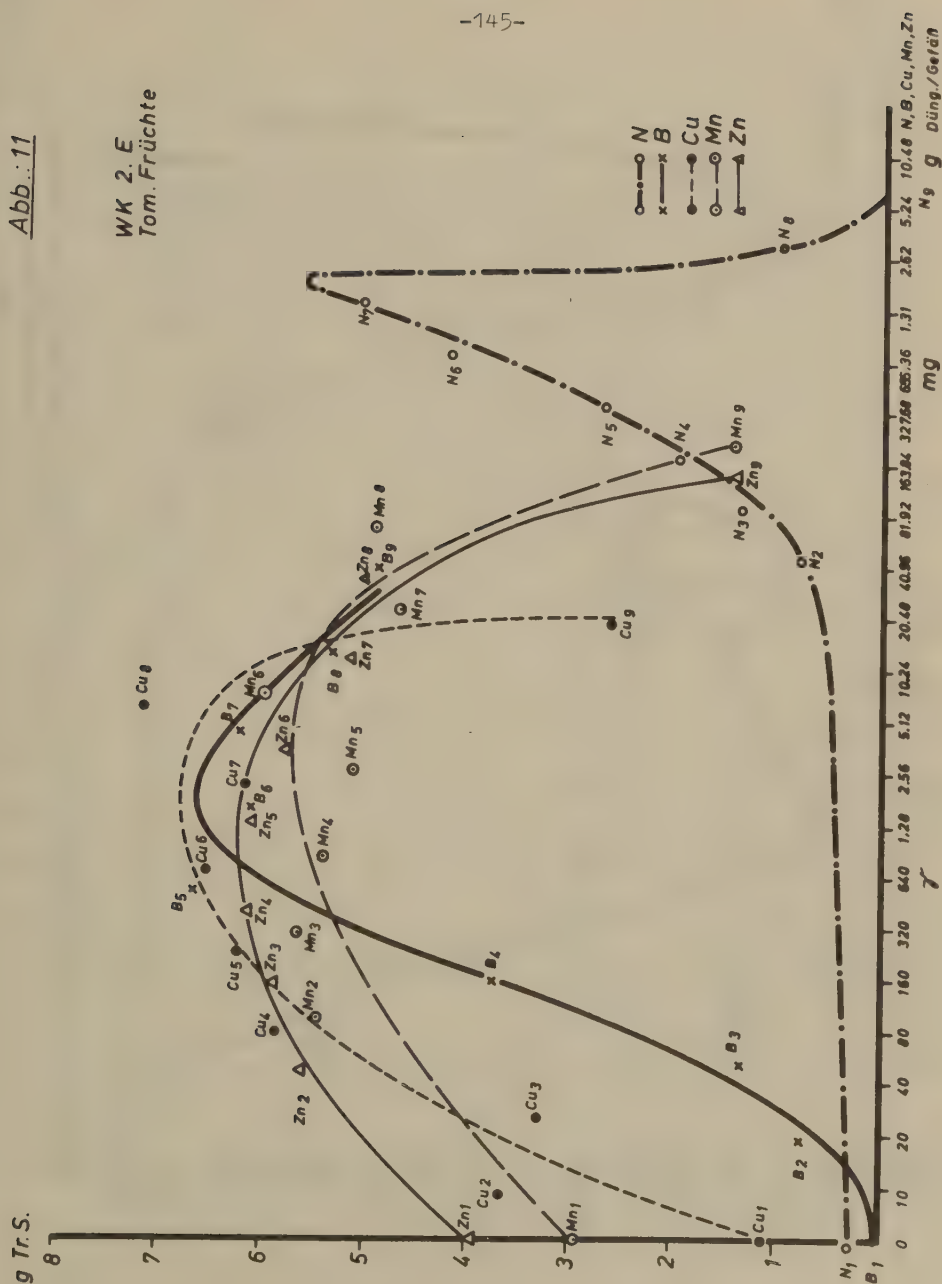


Abb.: 11

WK 2. E.
Tom. Früchte



g Tr. S.

Abb. 12

WK 2. E.

Tom. Sproß u. Früchte

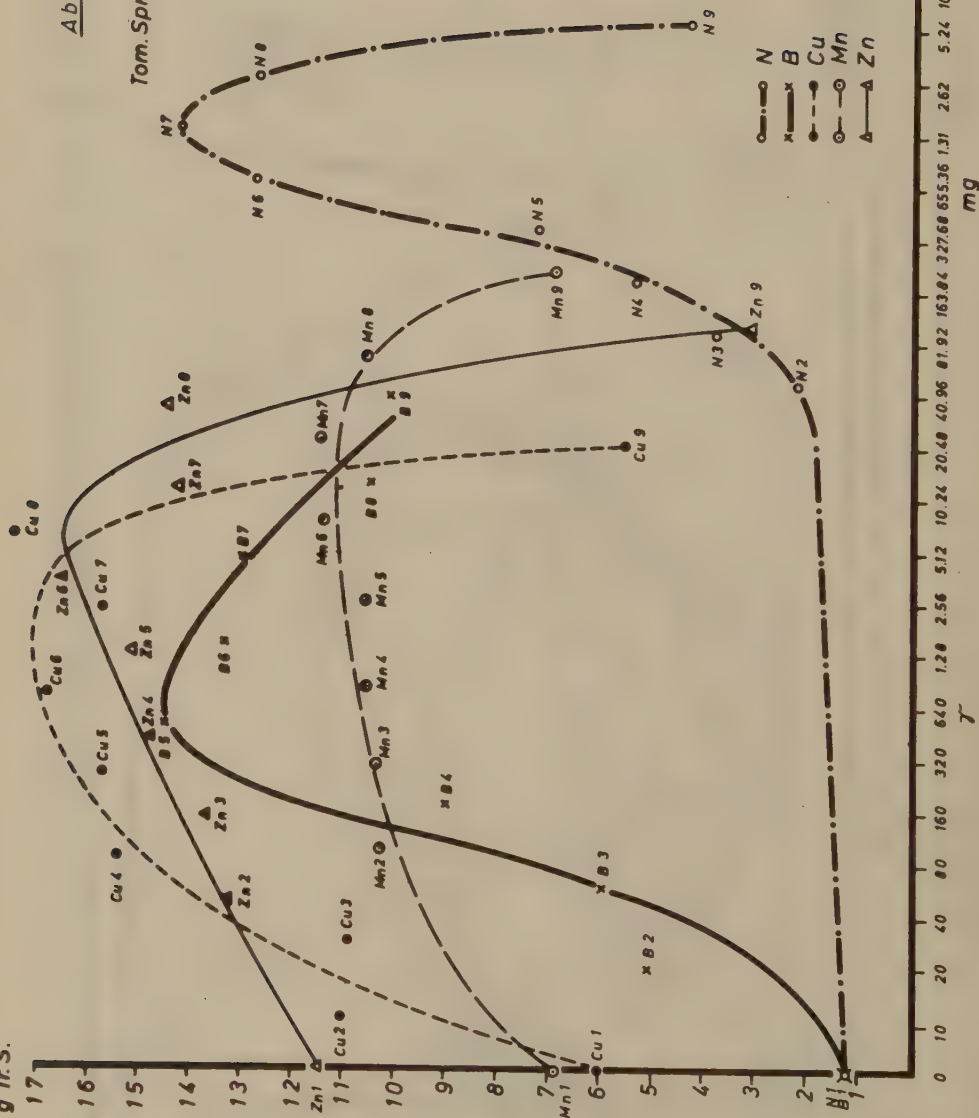


Tabelle 45

Der Einfluß gesteigerter N-, B-, Cu-, Mn- und Zn-Gaben auf den Ertrag und den Gehalt dieser Elemente in der Trockensubstanz (Wasserkulturversuch mit Tomaten 1961). Die niedrigsten und höchsten Gehalte dieser Nährstoffe in den Pflanzen bzw. in den Pflanzenteilen sind unterstrichen.

1. = Erste Ernte Sproß
2. = Zweite Ernte Sproß
3. = Zweite Ernte Früchte

	VR ₁	VR ₂	VR ₃	VR ₄	VR ₅	VR ₆	VR ₇	VR ₈	VR ₉
<u>N</u>									
1.	1,0 <u>7,9</u>	1,9 10,3	2,4 12,7	3,7 17,9	5,0 24,1	7,2 30,8	8,8 41,9	6,0 62,8	3,3 g TrS <u>81,5</u> mgN/g
2.	0,9 <u>6,6</u>	1,4 7,2	2,4 9,3	3,3 13,3	4,5 20,8	8,5 25,6	9,1 37,4	11,7 56,3	4,3 g TrS <u>74,7</u> mgN/g
3.	0,3 13,4	0,8 <u>12,9</u>	1,4 14,3	2,0 15,4	2,7 18,8	4,2 18,4	5,1 19,9	1,0 <u>29,1</u>	- g TrS - mgN/g
<u>B</u>									
1.	1,0 8,7	3,3 <u>6,9</u>	3,7 7,6	5,7 10,6	5,7 17,9	6,2 36,9	6,2 68,3	5,1 175,4	4,4 g TrS <u>400,3</u> ppm B
2.	1,1 11,6	4,3 8,3	4,6 <u>7,6</u>	5,3 11,0	7,8 17,2	7,2 38,0	6,7 78,9	5,1 239,6	5,2 g TrS <u>411,2</u> ppm B
3.	- -	0,8 1,3	1,3 <u>0,7</u>	3,7 2,5	6,7 7,7	6,1 9,8	6,2 9,8	5,3 14,2	4,9 g TrS <u>18,9</u> ppm B

	VR ₁	VR ₂	VR ₃	VR ₄	VR ₅	VR ₆	VR ₇	VR ₈	VR ₉
<u>Cu</u>									
1.	3,3 <u>1,1</u>	5,5 1,2	6,0 1,2	6,9 1,8	6,6 3,0	6,3 4,2	7,7 8,7	6,0 22,6	1,7 g TrS <u>121,4</u> ppm Cu
2.	4,8 <u>0,8</u>	7,4 1,3	7,6 1,2	9,6 1,3	9,5 2,2	10,3 3,5	9,5 7,6	10,3 17,6	3,0 g TrS <u>162,4</u> ppm Cu
3.	1,1 <u>0,3</u>	3,6 0,4	3,3 0,6	5,8 1,0	6,2 2,0	6,5 3,3	6,2 6,8	7,1 8,6	2,6 g TrS <u>15,9</u> ppm Cu
<u>Mn</u>									
1.	4,0 <u>11,6</u>	4,8 15,6	3,8 18,9	5,2 36,9	4,9 88,2	5,2 378,2	5,5 541,4	4,5 1703,9	3,3 g TrS <u>3601,4</u> ppm Mn
2.	3,9 <u>15,8</u>	4,8 16,9	4,7 20,8	5,1 40,7	5,4 104,5	5,4 335,4	6,7 727,1	5,6 1631,5	5,5 g TrS <u>2802,1</u> ppm Mn
3.	3,0 <u>1,8</u>	5,5 6,4	5,7 9,7	5,4 13,2	5,1 18,5	6,0 34,7	4,7 72,3	5,0 153,2	1,4 g TrS <u>239,7</u> ppm Mn
<u>Zn</u>									
1.	6,2 <u>15,5</u>	7,1 16,9	7,4 16,4	7,3 22,5	6,5 37,7	6,5 94,6	7,5 286,9	6,2 1089,0	1,8 g TrS <u>1893,7</u> ppm Zn
2.	7,4 <u>19,1</u>	7,6 25,5	7,8 23,4	8,6 29,3	9,0 43,3	10,8 85,0	9,1 273,4	9,4 977,0	1,7 g TrS <u>2647,1</u> ppm Zn
3.	4,0 <u>5,2</u>	5,6 7,7	5,9 7,5	6,2 10,9	6,1 16,7	5,8 20,6	5,2 33,6	5,0 59,2	1,4 g TrS <u>89,0</u> ppm Zn

Tabelle 46

Der Einfluss gesteigerter N-, B-, Cu-, Mn- und Zn-Gaben auf das Sproß-Frucht-Verhältnis (Ertrag, Gehalt, Entzug) bei Tomaten (Wasserkulturversuch 1961, zweite Ernte, Sproß + Früchte)

N:	Gew./rfln. in g	mgN/g Tr.S.	mg/g-Verh. Sproß/Frucht	mg-Entzugs-Vh. Sproß/Frucht	Ertrags-Vh. Sproß/Frucht
	1,20	8,05	0,49	1,77	3,62
	2,19	9,18	0,55	1,01	1,81
	3,75	11,13	0,65	1,14	1,76
	5,30	14,12	0,86	1,48	1,70
	7,19	20,01	1,11	1,86	1,68
	12,70	23,23	1,39	2,81	2,02
	14,19	31,17	1,88	3,41	1,81
	12,66	54,18	1,93	23,42	12,05
	4,29	74,66	-	-	-

B:	Gew./rfln. in g	ppm in d.Tr.S.	ppm-Verh. Sproß/Frucht	ug-Entzugs-Vh. Sproß/Frucht	Ertrags-Vh. Sproß/Frucht
	1,13	11,59	-	-	-
	5,01	7,29	6,47	37,04	5,68
	5,93	6,06	10,58	36,46	3,46
	8,92	7,51	4,39	6,28	1,43
	14,44	12,84	2,24	2,61	1,17
	13,31	25,05	3,89	4,59	1,18
	12,91	45,75	8,06	8,73	1,08
	10,38	124,03	16,83	16,00	0,95
	10,04	220,37	21,72	22,94	1,06

Gew./Pfln. in g	ppm in d.Tr.S.	ppm-Verh. Sproß/Frucht	ug-Entzugs-Vh. Sproß/Frucht	Ertrags-Vh. Sproß/Frucht
--------------------	-------------------	---------------------------	--------------------------------	-----------------------------

Cu:	5,89	0,70	2,96	13,31	4,40
	11,07	0,98	3,37	6,93	2,05
	10,89	1,04	1,89	4,31	2,29
	15,40	1,17	1,27	2,09	1,65
	15,70	2,10	1,07	1,64	1,53
	16,80	3,41	1,06	1,68	1,58
	15,70	7,32	1,12	1,73	1,55
	17,45	13,89	2,05	2,96	1,44
	5,61	94,64	10,25	11,75	1,15

Mn:	6,85	9,69	8,77	11,39	1,30
	10,23	11,29	2,65	2,31	0,87
	10,35	14,65	2,15	1,77	0,82
	10,53	26,47	3,08	2,89	0,94
	10,52	62,44	5,66	5,92	1,05
	11,38	177,31	9,67	8,74	0,90
	11,42	459,01	10,05	14,48	1,44
	10,53	936,08	10,65	11,99	1,13
	6,89	2266,30	11,69	44,34	3,78

Zn:	11,42	14,62	3,70	7,14	1,87
	13,21	17,97	3,30	4,51	1,37
	13,65	16,52	3,14	4,15	1,32
	14,78	21,58	2,70	3,74	1,39
	15,15	32,59	2,59	3,82	1,48
	16,54	62,56	4,12	7,71	1,87
	14,24	186,49	8,15	14,33	1,76
	14,42	656,51	16,49	30,72	1,86
	3,09	1496,64	29,76	36,28	1,22

Starker Bormangel (VR_1) verhindert ebenso wie toxische Stickstoffgaben (VR_9) die Ausbildung von Früchten.

Stickstoff: Der Einfluß hoher Stickstoffgaben auf das Sproß-Frucht-Verhältnis führt im Wasserkulturversuch nicht zum gleichen Ergebnis wie im Sand- und PVC-Kulturversuch.

Bor: Bormangel wirkt sich ebenfalls im Wasserkulturversuch stärker auf den Frucht- als auf den Sproßertrag aus. Der unterschiedliche Effekt hoher Borgaben auf die Sproß- und Fruchtentwicklung kommt zu diesem Zeitpunkt noch nicht zum Vorschein.

Kupfer: Im Kupferversuch beeinflussen die Kupfergaben von VR_1 bis VR_4 (Kupfermangelbereich) deutlich das Sproß-Frucht-Verhältnis; der Quotient fällt von 4,40 (VR_1) auf 1,65 (VR_4). Toxische Kupferkonzentrationen rufen ertragsmäßig etwa die gleichen Störungen innerhalb der vegetativen und generativen Wachstumsphase hervor.

Mangan: Sowohl bei Manganmangel als auch bei Mangantoxizität ist die Ausbildung der Früchte im Vergleich zum Sproß stärker eingeschränkt.

Zink: In VR_1 und in VR_6 bis VR_8 des Zinkversuches steigt das Sproß-Frucht-Verhältnis etwas an, dagegen erreicht es in VR_9 seinen niedrigsten Wert. Das bedeutet, daß bei leichtem Zinkmangel und geringem bis mittlerem Zinküberschuß die Fruchtentwicklung, bei ausgeprägten Ertragsdepressionen (stark toxischen Zinkgaben) das Sproßwachstum relativ stärker gehemmt ist.

Die von VR_1 bis VR_9 zunehmenden N-, Cu-, Mn- und Zn-Konzentrationen in den Nährlösungen der Wasserkulturversuche lassen die Gehalte dieser Elemente allgemein in Sproß und Früchten in gleicher Richtung ansteigen. Die Borgehalte nehmen dagegen - ähnlich wie im Sandkulturversuch - in den Pflanzen bzw. in den Pflanzenteilen von VR_1 bis VR_3 bei strengem Bormangel ab und von VR_4 bis VR_9 in größerem Umfang wieder zu (siehe Tabelle 45, S.147).

Während die Konzentrationen von B, Cu, Mn und Zn im Sproß von VR_1 bis VR_9 stets einen höheren Wert als in der Frucht errei-

chen, ergibt sich beim N-Versuch ein anderes Bild. Hier kann der höhere Stickstoffgehalt zunächst in den Früchten (VR_1 bis VR_4), anschließend jedoch (VR_5 bis VR_9) wie in den Mikronährstoffversuchen im Sproß gefunden werden. Allerdings schwankt der Quotient mgN/g Tr.S. Sproß: mgN/g Tr.S. Frucht in engen Grenzen. Der Übergang des höheren Stickstoffgehaltes von den Früchten zu dem Sproß, der im Wasserkulturversuch von VR_4 nach VR_5 - also noch im Mangelbereich - beobachtet werden kann, erfolgt im Sand- und PVC-Kulturversuch von VR_7 nach VR_8 im Bereich schwächeren bis mittleren Stickstoffüberschusses. Die Verteilung der gesteigerten Mikronährstoffe in Sproß und Früchten weist im Kupferversuch (VR_1 bis VR_8) die geringsten, im Zinkversuch (VR_1 bis VR_9) die Höchstunterschiede auf. Die Tabelle 46 (S.149) gibt einen Überblick über die Gehalts-, Entzugs- und Ertragsverhältnisse (Quotienten) von Sproß und Früchten des Wasserkulturversuches wieder.

Die Gehalte von N, B, Cu, Mn und Zn schwankten in den Sprossen z.Zt. der 2.Ernte zwischen:

VR_1	6,6 -	74,7 mg	N/g	Tr.S.	VR_9
VR_3	7,6 -	411,2 ug	B/g	" "	"
VR_1	0,8 -	162,4 ug	Cu/g	" "	"
VR_1	15,8 -	2802,1 ug	Mn/g	" "	"
VR_1	19,1 -	2647,1 ug	Zn/g	" "	"

Für die Früchte ergaben sich zu diesem Zeitpunkt folgende Werte:

VR_2	12,9 -	29,1 mg	N/g	Tr.S.	VR_8
VR_3	0,7 -	18,9 ug	B/g	" "	VR_9
VR_1	0,3 -	15,9 ug	Cu/g	" "	"
VR_1	1,8 -	239,7 ug	Mn/g	" "	"
VR_1	5,2 -	89,0 ug	Zn/g	" "	"

Die höchsten Entzüge dieser Elemente treten in VR_8 (N, Zn) und VR_9 (B, Cu, Mn) bei mittlerem bis stärkerem Überschuß dieser Elemente im Nährmedium auf (siehe Tabelle 47-56, S. 156 ff.).

Die Nährstoffgehalte der variierten Elemente in Sproß und Früchten innerhalb des Höchstertragsbereiches des Wasserkulturversuches mit Tomaten 1961:

1. Ernte Sproß:

	41,9 mg	N/g	Tr.S.	(VR ₇)
17,9 -	68,3 ug	B/g	" "	(VR ₅ - VR ₈)
1,8 -	22,6 ug	Cu/g	" "	(VR ₄ - VR ₇)
15,6 -	541,4 ug	Mn/g	" "	(VR ₂ - VR ₇)
16,9 -	286,9 ug	Zn/g	" "	(VR ₂ - VR ₇)

2. Ernte Sproß:

	37,4 mg	N/g	Tr.S.	(VR ₇)
17,2 -	78,9 ug	B/g	" "	(VR ₅ - VR ₇)
1,3 -	17,6 ug	Cu/g	" "	(VR ₄ - VR ₈)
16,9 -	1631,5 ug	Mn/g	" "	(VR ₂ - VR ₈)
25,5 -	977,0 ug	Zn/g	" "	(VR ₂ - VR ₈)

2. Ernte Früchte:

	19,9 mg	N/g	Tr.S.	(VR ₇)
7,7 -	9,8 ug	B/g	" "	(VR ₅ - VR ₇)
1,0 -	8,6 ug	Cu/g	" "	(VR ₄ - VR ₈)
6,4 -	153,2 ug	Mn/g	" "	(VR ₂ - VR ₈)
7,7 -	59,2 ug	Zn/g	" "	(VR ₂ - VR ₈)

Wie in allen anderen Versuchen sind die Gehalte der Grundnährstoffe auch am Versuchsende überwiegend ertragsbedingt. Lediglich starker Mangel und starker Überschuß eines Elementes scheinen gewisse Störungen bei der Nährstoffaufnahme hervorzurufen (siehe Tabelle 47-56 , S.156ff).

Bei hoher Stickstoffzufuhr, die bereits Ertragsdepressionen hervorruft (VR₈ Früchte) ist eine bedeutende Erhöhung des Kupfer-, Kalium-, Bor- und Phosphorgehaltes im Sproß - und eine sichtbare Erniedrigung des Kupfer-, Kalzium-, Magnesium- und vor allem des Borgehaltes in den Früchten zu beobachten.

Bei weiterer Zunahme der Stickstoffkonzentration in der Nährlösung (VR₉) ist eine verringerte Aufnahme von Kalzium und Magnesium festzustellen. Andererseits erreichen Zink, Bor und Kupfer im Sproß dieser Variante (VR₉) ihre höchsten Werte innerhalb der Stickstoffversuchsreihe.

Wie schon zum Zeitpunkt der 1. Ernte festgestellt, werden in B-VR₁ Kalzium und Magnesium - gegenüber den übrigen Elementen - von den Pflanzen bevorzugt aufgenommen; hervorzuheben ist außerdem der niedrige Kupfergehalt in dieser Versuchsreihe.

Während der Zinkgehalt im Sproß bei Kupfermangel (geringe Substanzbildung) kaum verändert ist, sind die übrigen Nährstoffe beträchtlich erhöht; in den Früchten trifft diese Feststellung auch für Zink zu. Bei toxischen Kupfergaben (VR₉) scheinen alle Nährstoffe mehr oder weniger deutlich in der Aufnahme gehemmt zu sein, wenn man die Nährstoffkonzentrationen und Nährstoffentzüge der VR₉ mit VR₁ (Sproß) vergleicht.

Da der Gesamtertrag (Sproß + Früchte) der beiden Versuchsreihen im Gegensatz zu den Teilerträgen (Sproß - Früchte) im wesentlichen übereinstimmt, sollen hier die Versuchsergebnisse von VR₁ und VR₉ des Gesamtertrages (Sproß + Früchte) gegenübergestellt werden:

VR	Tr.S.	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn
mg-Atom %						ug-Atom %				
1	5,9	318,7	21,9	142,3	26,0	15,8	367,3	1,1	491,7	87,6
9	5,6	185,1	11,7	75,9	14,5	8,0	267,3	148,9	229,9	75,9
mg-Entzug						ug-Entzug				
1	5,9	262,9	39,9	327,9	61,3	22,6	234,0	4,2	1591,0	337,1
9	5,6	145,4	20,4	166,8	32,6	10,9	167,7	531,0	708,4	278,4

Weiterhin begünstigt die hohe Kupferkonzentration der Nährlösung im vorliegenden Fall die Zinkaufnahme (VR₄ - VR₈ Sproß; s. hierzu auch die Ergebnisse der 1. Ernte).

In den Pflanzen der Mn-VR₁ kann, wie zur 1. Ernte, eine erhöhte Aufnahme sämtlicher Nährstoffe beobachtet werden; vergleiche hierzu die Gehalte und Entzüge der VR₁ und VR₂ Sproß. Bei einer Gegenüberstellung der Nährstoffgehalte von VR₁ und VR₉ des Manganversuches (Sproß und besonders Früchte), kommt es zu sehr beachtenswerten Unterschieden. Ein hervorstechendes Merkmal ist die niedrige Kupfer-, Zink- (Sproß), Kalzium- und Magnesiumaufnahme bei hohem Manganangebot von VR₇ bis VR₉. Wahrscheinlich ist der Transport dieser Nährstoffe in die Pflanze durch die sehr hohen Mangankonzentrationen in der Nährlösung stärker blockiert als der des Bors, Kaliums, Stickstoffs und Phosphors. Diese Vermutung wird noch bestärkt, wenn man die Ergebnisse der gesamten 2. Ernte (Sproß + Früchte) berücksichtigt:

VR	Tr.S.	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn
mg-Atom %						ug-Atom %				
1	6,9	220,3	15,8	99,7	16,4	10,0	269,0	13,6	17,6	110,4
9	6,9	187,8	12,6	72,3	6,1	2,0	195,0	6,9	4125,1	51,3
mg-Entzug						ug-Entzug				
1	6,9	211,5	33,6	267,1	45,1	16,6	199,3	59,0	66,4	494,4
9	6,9	181,2	26,9	194,8	17,0	3,4	145,4	30,0	15618,9	231,0

Der Gehalt von Stickstoff, Kalium, Kalzium und Magnesium steigt bei starkem Ertragsabfall in Zn-VR₉ (Sproß) relativ nur geringfügig und der von Bor etwas stärker an. Die Phosphor-, Kupfer- und Mangangehaltswerte verändern sich dagegen praktisch nicht. In den Früchten der Zn-VR₉ fallen die Konzentrationen von Stickstoff und Kalium sogar etwas ab, während die von Bor und Mangan deutlich ansteigen; die übrigen Nährstoffe unterliegen nur geringen Schwankungen. Ferner ist die hohe Phosphor- und Magnesium- bzw. Boraufnahme in Zn-VR₁ (bes. Sproß) bzw. in Zn-VR₈ (bes. Sproß) erwähnenswert, die teilweise schon zur 1. Ernte beobachtet werden konnte.

Tabelle 47

Tomaten in Wasserkultur 1961

N-Steigerungsversuch, 2. Ernte Sproß

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. µg-Atom%) und -entzüge (mg- bzw. µg/Gefäß)

V.R.	N- mgN/P Düng. Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Atom % Tr.S.					µg-Atom % Tr.S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0	0,9	47	19	73	19,9	12,0	290	7,8	377	104	
2	50	1,4	51	17	73	16,6	10,5	328	9,8	380	120	
3	100	2,4	66	16	69	14,8	8,9	315	6,7	287	102	
4	200	3,3	95	14	60	13,4	7,4	274	7,9	246	97	
5	400	4,5	148	13	57	13,4	7,3	235	10,3	244	91	
6	800	8,5	183	12	60	12,8	5,9	182	7,8	210	77	
7	1600	9,1	267	13	55	11,7	5,3	237	8,6	212	110	
8	3200	11,7	402	19	76	9,2	5,0	309	10,8	191	85	
9	6400	4,3	533	15	60	6,7	4,7	491	19,7	198	131	

V.R.	N- mgN/P Düng. Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Entzug					µg-Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0	0,9	6,2	5,4	27,0	7,5	2,8	29,5	4,7	194,7	63,8	
2	50	1,4	10,1	7,6	40,3	9,4	3,6	50,1	8,7	294,3	110,4	
3	100	2,4	22,2	11,6	64,4	14,2	5,2	81,5	10,1	376,2	158,9	
4	200	3,3	44,6	14,9	77,9	18,0	6,1	99,2	16,8	452,3	212,3	
5	400	4,5	93,7	18,2	100,2	24,2	8,0	114,5	29,4	605,0	269,2	
6	800	8,5	217,9	30,6	198,9	43,5	12,2	167,2	48,2	982,5	426,1	
7	1600	9,1	341,8	35,8	197,0	42,6	11,7	233,9	49,9	1066,5	657,0	
8	3200	11,7	658,2	70,5	345,8	43,2	14,3	390,9	80,1	1228,6	650,1	
9	6400	4,3	320,3	20,4	100,8	11,5	4,9	227,8	53,6	466,7	367,0	

Tomaten in Wasserkultur 1961

N-Steigerungsversuch, 2. Ernte Früchte

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. µg-Atom%) und -entzüge (mg bzw. µg/Gefäß)

mg-Atom %, Tr.S.															µg-Atom %, Tr.S.														
V.R.	N- mg N/100 Gef.	Düng. g Tr. S.	Ertrag/Gef.	mg-Atom %, Tr.S.						µg-Atom %, Tr.S.																			
				N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn																	
1	0		0,3	96	12,7	136	4,9	7,3	-	10,7	74	57																	
2	50		0,8	92	14,3	104	2,5	7,0	89	12,5	40	42																	
3	100		1,4	102	11,8	84	1,8	5,6	89	12,4	30	38																	
4	200		2,0	110	8,7	77	1,6	4,9	102	10,5	28	32																	
5	400		2,7	134	7,5	60	1,6	3,7	84	9,4	29	30																	
6	800		4,2	132	7,6	58	1,5	3,7	67	8,3	30	29																	
7	1600		5,1	142	7,4	57	1,2	3,4	40	7,4	28	27																	
8	3200		1,0	208	10,2	58	1,1	3,3	17	6,9	38	32																	
9	6400		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																	

mg-Entzug															µg-Entzug														
V.R.	N- mg N/100 Gef.	Düng. g Tr. S.	Ertrag/Gef.	mg-Entzug						µg-Entzug																			
				N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn																	
1	0		0,3	3,5	1,0	13,8	0,6	0,5	-	1,8	10,5	9,7																	
2	50		0,8	10,0	3,5	31,7	0,8	1,3	7,5	6,2	16,9	21,4																	
3	100		1,4	19,5	5,0	45,0	1,0	1,9	13,2	10,8	22,7	34,0																	
4	200		2,0	30,2	5,3	59,2	1,3	2,3	21,6	13,1	30,5	41,1																	
5	400		2,7	50,3	6,2	63,3	1,7	2,4	24,4	16,0	42,7	53,4																	
6	800		4,2	77,4	9,9	95,6	2,5	3,7	30,4	22,3	68,8	78,4																	
7	1600		5,1	100,2	11,6	113,3	2,4	4,2	21,7	23,8	79,9	88,8																	
8	3200		1,0	28,1	3,1	21,8	0,4	0,8	1,8	4,2	20,0	20,0																	
9	6400		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																	

Tabelle 49
Tomaten in Wasserkultur 1961

B-Steigerungsversuch, 2. Ernte Sproß

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. µg-Atom%) und -entzüge (mg bzw. µg/Gefäß)

V.R.	Düng. mg B/ Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg- Atom % Tr. S.				µg- Atom % Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn
1	0,00	1,1	254	15	81	30	15,0	107	9,0	351	96
2	0,02	4,3	239	17	97	22	9,5	77	12,0	382	99
3	0,06	4,6	224	15	85	20	9,2	70	11,0	371	94
4	0,18	5,3	190	13	72	19	7,7	102	9,2	341	95
5	0,54	7,8	175	11	59	17	7,7	159	7,4	318	84
6	1,62	7,2	169	11	56	16	6,5	351	7,1	290	87
7	4,86	6,7	171	12	60	18	8,1	729	6,1	337	85
8	14,58	5,1	171	12	59	19	8,0	2215	6,2	334	81
9	43,74	5,2	188	14	64	16	6,0	3801	6,9	305	87

V.R.	Düng. mg B/ Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg- Entzug				µg- Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn
1	0,00	1,1	40,2	5,4	35,7	13,4	4,1	13,1	6,5	218,3	70,8
2	0,02	4,3	142,6	21,9	161,0	37,3	9,9	35,6	32,6	894,4	275,6
3	0,06	4,6	144,1	21,0	153,2	37,4	10,3	35,0	32,0	936,8	283,6
4	0,18	5,3	140,0	21,2	146,9	40,5	9,7	57,8	30,5	982,3	324,3
5	0,54	7,8	190,5	26,8	178,7	52,0	14,5	134,1	36,9	1360,0	427,0
6	1,62	7,2	170,7	25,5	156,6	45,7	11,5	273,8	32,3	1147,2	410,7
7	4,86	6,7	161,1	24,0	156,4	49,0	13,3	529,9	25,9	1243,2	371,8
8	14,58	5,1	121,0	18,7	117,0	37,6	9,8	1211,7	19,8	928,3	267,9
9	43,74	5,2	135,6	22,6	129,3	33,0	7,6	2120,1	22,6	864,8	294,1

Tomaten in Wasserkultur 1961

B-Steigerungsversuch, 2. Ernte Früchte

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. $\mu\text{g-Atom}\%$) und -entzüge (mg bzw. $\mu\text{g/Gel}\frac{1}{2}\text{B}$)

V.R.	B- mg Düng. B $\frac{1}{2}$ Gel.	Ertrag/Gel. g Tr. S.	mg-Atom % Tr. S.					$\mu\text{g-Atom}\%$ Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0,02	0,8	237	13	75	2,2	5,0	12	10,6	81	53	
3	0,06	1,3	232	14	74	1,9	5,5	7	10,4	64	37	
4	0,18	3,7	162	12	74	2,0	3,0	23	8,0	57	29	
5	0,54	6,7	124	10	60	1,6	3,7	71	7,0	38	26	
6	1,62	6,1	124	10	57	1,3	3,6	90	7,1	40	25	
7	4,86	6,2	131	10	59	1,6	3,5	91	5,1	45	23	
8	14,58	5,3	123	11	62	1,7	3,4	132	6,3	43	26	
9	43,74	4,9	130	11	60	1,2	3,7	175	6,4	35	22	

V.R.	B- mg Düng. B $\frac{1}{2}$ Gel.	Ertrag/Gel. g Tr. S.	mg-Entzug					$\mu\text{g-Entzug}$				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0,02	0,8	24,7	3,1	21,9	0,6	0,9	1,0	5,0	33,2	25,8	
3	0,06	1,3	43,2	5,6	38,5	1,0	1,8	1,0	8,8	46,8	32,2	
4	0,18	3,7	83,0	14,1	105,4	3,0	2,7	9,2	18,6	113,8	69,2	
5	0,54	6,7	115,9	21,4	157,3	4,3	6,0	51,3	29,7	140,4	113,2	
6	1,62	6,1	106,1	19,2	137,1	3,3	5,4	59,6	27,4	134,0	100,0	
7	4,86	6,2	113,7	19,3	142,7	4,0	5,3	60,7	20,2	151,6	93,1	
8	14,58	5,3	91,3	17,9	129,5	3,7	4,4	75,7	21,2	126,0	91,6	
9	43,74	4,9	89,0	17,4	115,4	2,4	4,4	92,4	20,0	93,8	70,5	

Tabelle 51

Tomaten in Wasserkultur 1961

Cu-Steigerungsversuch, 2. Ernte Späb

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. $\mu\text{g-Atom}\%$) und -entzüge (mg bzw. $\mu\text{g/Gefäß}$)

V.R.	Cu- Düng. mg Cu/Gef.	Ertrag/Gef. g. Tr. S.	mg- Atom %, Tr. S.					µg- Atom %, Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	4,8	333	23	149	31	17,9	425	1,3	590	96	
2	0,01	7,4	266	15	100	22	13,1	304	2,0	390	107	
3	0,03	7,6	205	15	92	21	13,0	266	1,9	381	87	
4	0,09	9,6	157	12	65	16	8,0	222	2,0	287	64	
5	0,27	9,5	157	12	64	16	8,8	229	3,4	292	72	
6	0,81	10,3	164	12	67	17	8,8	231	5,5	289	83	
7	2,43	9,5	156	11	55	16	8,4	205	12,0	277	96	
8	7,29	10,3	156	11	56	17	7,5	233	27,7	328	127	
9	21,87	3,0	221	15	85	25	11,9	427	255,6	368	113	

V.R.	Cu- Düng. mg Cu/Gef.	Ertrag/Gef. g. Tr. S.	mg- Entzug					µg- Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	4,8	224,3	34,2	279,1	60,3	20,9	221,1	3,9	1555,6	301,0	
2	0,01	7,4	235,0	35,3	290,5	66,2	23,6	244,8	9,5	1593,0	520,4	
3	0,03	7,6	217,8	34,4	273,7	63,4	24,0	217,9	9,2	1587,1	432,8	
4	0,09	9,6	210,6	34,4	243,6	62,2	18,7	230,3	12,2	1508,5	401,3	
5	0,27	9,5	209,0	34,6	238,5	61,9	20,4	235,5	20,4	1523,6	448,0	
6	0,81	10,3	235,6	37,1	271,3	69,5	21,8	257,3	36,0	1629,9	555,9	
7	2,43	9,5	208,2	32,7	205,0	59,5	19,6	211,9	72,9	1450,9	601,4	
8	7,29	10,3	225,0	35,2	226,0	69,3	18,8	260,1	181,3	1861,3	854,3	
9	21,87	3,0	92,9	13,7	100,1	30,4	8,7	138,2	486,6	606,3	220,9	

Tabelle 52

Tomaten in Wasserkultur 1961

Cu-Steigerungsversuch, 2. Ernte Früchte

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. $\mu\text{g-Atom}\%$) und -entzüge (mg bzw. $\mu\text{g/Gefäß}$)

V.R.	Cu- Düng. mgCu ^{II} /Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg- Atom %, Tr. S.					µg- Atom %, Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	1,1	254	17,0	115	2,3	6,7	110	0,4	60	51	
2	0,01	3,6	178	12,0	81	1,9	5,0	91	0,6	49	37	
3	0,03	3,3	165	11,6	76	1,6	5,0	78	1,0	46	33	
4	0,09	5,8	137	9,7	62	1,4	3,8	64	1,6	32	31	
5	0,27	6,2	128	9,4	62	1,3	3,8	65	3,2	33	29	
6	0,81	6,5	128	9,2	64	1,2	3,1	70	5,2	34	29	
7	2,43	6,2	122	8,2	62	1,2	3,4	61	10,8	31	29	
8	7,29	7,1	120	7,9	59	1,2	3,5	66	13,5	30	30	
9	21,87	2,6	144	8,3	65	2,0	3,5	104	24,9	71	34	
V.R.	Cu- Düng. mgCu ^{II} /Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg- Entzug					µg- Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	1,1	38,5	5,7	48,8	1,0	1,8	13,0	0,3	35,4	36,2	
2	0,01	3,6	90,6	13,5	115,6	2,7	4,4	35,6	1,4	98,6	87,8	
3	0,03	3,3	76,3	11,9	98,9	2,1	4,0	27,9	2,1	83,1	71,7	
4	0,09	5,8	111,7	17,5	141,4	3,1	5,4	40,3	5,9	103,3	117,0	
5	0,27	6,2	111,0	18,0	150,5	3,3	5,8	43,3	12,5	114,1	115,7	
6	0,81	6,5	116,9	18,5	162,8	3,1	5,0	49,4	21,4	123,0	122,6	
7	2,43	6,2	105,5	15,7	149,4	3,0	5,1	40,8	42,1	105,0	117,0	
8	7,29	7,1	119,9	17,5	165,3	3,4	6,1	50,9	61,2	117,0	141,6	
9	21,87	2,6	52,6	6,7	66,6	2,1	2,2	29,5	41,4	102,1	57,5	

Tabelle 53

Tomaten in Wasserkultur 1961

Mn-Steigerungsversuch, 2. Ernte Spieß

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. µg-Atom%) und -entzüge (mg bzw. µg/Gefäß)

V.R.	Mn- mg	Düng. Mn/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Atom%, Tr.S.				µg-Atom%, Tr.S.				
				N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn
1		0,0	3,9	245	17	107	27	12,3	390	14,9	29	161
2		0,1	4,8	181	13	68	22	8,2	293	9,9	31	123
3		0,3	4,7	185	13	66	22	8,2	299	9,6	38	111
4		0,9	5,1	170	12	61	20	7,7	258	8,1	74	98
5		2,7	5,4	177	12	63	17	7,8	243	8,7	190	94
6		8,1	5,4	187	12	66	20	8,3	270	8,8	610	98
7		24,3	6,7	170	11	64	14	6,6	237	6,1	1324	69
8		72,9	5,6	183	12	72	12	3,4	241	6,2	2970	75
9		218,7	5,5	207	13	79	7	1,7	226	7,0	5100	56

V.R.	Mn- mg	Düng. Mn/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Entzug				µg-Entzug				
				N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn
1		0,0	3,9	132,5	20,6	161,4	42,2	11,5	163,3	36,7	61,1	407,4
2		0,1	4,8	120,7	19,1	125,9	41,2	9,5	151,1	29,9	80,6	381,6
3		0,3	4,7	120,8	19,3	120,0	40,7	9,3	150,8	28,5	96,9	340,2
4		0,9	5,1	121,2	19,7	122,4	40,2	9,5	142,3	26,2	207,5	325,0
5		2,7	5,4	133,1	20,0	131,8	37,0	10,1	141,5	29,8	562,0	329,7
6		8,1	5,4	141,5	20,7	138,8	44,3	10,8	157,8	30,3	1810,7	344,5
7		24,3	6,7	160,4	23,2	168,2	37,9	10,8	172,8	26,2	4903,3	305,8
8		72,9	5,6	142,7	20,5	156,8	27,7	4,6	145,5	21,9	9098,3	274,4
9		218,7	5,5	157,9	22,2	168,2	16,2	2,2	133,3	24,3	15274,4	199,7

Tabelle 54

Tomaten in Wasserkultur 1961

Mn-Steigerungsversuch, 2. Ernte Früchte

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. $\mu\text{g-Atom}\%$) und -entzüge (mg bzw. $\mu\text{g/Gefäß}$)

V.R.	Nin-Düng. mg N in Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Atom % Tr. S.					$\mu\text{g-Atom \%}$ Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,0	3,0	190	14	91	2,5	7,0	112	11,8	3,3	45	
2	0,1	5,5	134	11	57	1,8	4,7	72	8,4	11,6	29	
3	0,3	5,7	147	11	57	1,8	4,5	78	7,5	17,6	29	
4	0,9	5,4	132	10	54	1,6	4,2	66	8,7	24,0	29	
5	2,7	5,1	136	10	54	1,6	4,0	74	8,4	22,6	29	
6	8,1	6,0	132	10	52	1,6	4,0	81	7,1	63,1	31	
7	24,3	4,7	121	10	49	1,6	4,2	75	6,0	131,7	26	
8	72,9	5,0	122	10	52	1,4	3,7	63	5,3	278,8	23	
9	218,7	1,4	116	11	47	1,4	3,2	78	6,2	456,3	33	

V.R.	Nin-Düng. mg N in Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Entzug					Mg	$\mu\text{g-Entzug}$				
			N	P	K	Ca	B		Cu	Mn	Zn		
1	0,0	3,0	79,1	13,0	105,8	2,9	5,1	36,0	22,3	5,4	87,0		
2	0,1	5,5	102,7	18,2	121,0	3,8	6,3	42,5	29,2	34,9	104,2		
3	0,3	5,7	116,5	19,6	125,5	4,0	6,3	48,0	27,0	54,8	107,2		
4	0,9	5,4	100,9	17,6	114,1	3,5	5,6	38,8	30,2	71,9	102,4		
5	2,7	5,1	97,6	16,6	108,8	3,3	5,0	41,1	27,5	94,9	96,9		
6	8,1	6,0	110,9	19,4	122,3	3,9	5,9	52,4	27,1	207,2	120,7		
7	24,3	4,7	79,4	14,3	89,9	3,0	4,8	38,0	17,9	338,7	79,3		
8	72,9	5,0	84,9	15,5	100,6	2,7	4,4	36,4	16,8	758,6	74,8		
9	218,7	1,4	23,3	4,7	26,7	0,8	1,1	12,1	5,6	344,5	31,3		

Tabelle 55

Tomaten in Wasserkultur 1961

Zn-Steigerungsversuch, 2. Ernte Sproß

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. µg-Atom%) und -entzüge (mg bzw. µg/Gefäß)

V.R.	Zn- Düng. mg zü. Gef.	Ertrag/Gef. g. Tr. S.	mg- Atom %, Tr. S.					µg- Atom %, Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	7,4	206	22	74	22	19,8	291	6,6	411	29	
2	0,05	7,6	181	16	68	20	15,1	281	6,3	351	39	
3	0,15	7,8	174	14	63	18	9,4	260	5,2	326	36	
4	0,45	8,6	165	11	62	16	7,7	236	5,7	286	45	
5	1,35	9,0	175	12	72	17	9,1	255	7,4	310	66	
6	4,05	10,8	164	12	66	15	7,2	247	5,7	276	129	
7	12,15	9,1	162	12	63	16	7,6	265	7,2	286	418	
8	36,45	9,4	182	14	73	18	10,6	331	7,2	325	1494	
9	109,35	1,7	210	14	83	25	20,2	446	6,9	339	4049	
V.R.	Zn- Düng. mg zü. Gef.	Ertrag/Gef. g. Tr. S.	mg- Entzug					µg- Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	7,4	214,5	50,5	215,4	66,8	35,7	234,0	31,3	1677,9	146,5	
2	0,05	7,6	193,0	36,6	201,3	60,2	27,9	232,1	30,5	1471,5	194,3	
3	0,15	7,8	189,2	33,7	189,8	56,7	17,7	218,4	25,8	1389,4	181,8	
4	0,45	8,6	198,5	29,9	209,5	54,5	16,2	219,0	31,2	1349,6	251,8	
5	1,35	9,0	220,8	33,6	253,0	61,3	19,9	249,1	42,7	1538,7	391,2	
6	4,05	10,8	247,0	39,0	277,9	63,7	18,9	288,7	38,8	1633,1	916,0	
7	12,15	9,1	206,2	33,2	225,2	56,6	16,8	260,0	41,5	1425,7	2482,3	
8	36,45	9,4	239,0	40,9	268,9	69,1	24,1	336,0	43,0	1677,7	9168,5	
9	109,35	1,7	50,0	7,5	55,1	17,0	8,4	82,0	7,4	316,6	4500,6	

Tabelle 56

Tomaten in Wasserkultur 1961

Zn-Steigerungsversuch, 2. Ernte Früchte

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. $\mu\text{g-Atom}\%$) und -entzüge (mg bzw. $\mu\text{g/Gefäß}$)

mg-Atom %, Tr. S. und -entzüge (mg bzw. µg/Gefäß)											
V.R.	Zn- Düng. mg Zn/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg- Atom %, Tr. S.				µg- Atom %, Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn
1	0,00	4,0	173	12,5	85	2,2	6,5	76	5,8	54	7,9
2	0,05	5,6	149	10,4	72	1,6	4,9	61	5,3	43	11,8
3	0,15	5,9	144	9,9	69	1,6	4,6	62	5,1	44	11,4
4	0,45	6,2	130	9,0	61	1,4	4,0	50	6,4	31	16,6
5	1,35	6,1	135	9,7	65	1,6	4,6	63	7,6	37	25,6
6	4,05	5,8	123	8,6	58	1,5	4,5	58	7,7	32	31,5
7	12,15	5,2	131	8,6	63	1,6	4,4	65	8,8	34	51,4
8	36,45	5,0	110	8,9	65	1,9	4,3	58	8,5	39	90,6
9	109,35	1,4	104	10,0	64	2,5	4,4	101	8,3	65	136,1
mg-Entzug											
V.R.	Zn- Düng. mg Zn/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Entzug				µg-Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn
1	0,00	4,0	96,5	15,4	132,2	3,4	6,3	32,5	14,8	118,0	20,5
2	0,05	5,6	116,4	18,1	157,4	3,6	6,7	36,8	18,8	131,2	43,1
3	0,15	5,9	184,9	18,0	158,8	3,8	6,6	39,5	19,0	143,0	43,9
4	0,45	6,2	112,5	17,2	146,8	3,3	5,9	33,7	25,0	106,1	67,3
5	1,35	6,1	115,9	18,3	154,9	4,0	6,8	41,7	29,7	122,8	102,4
6	4,05	5,8	99,0	15,3	130,2	3,4	6,3	36,4	28,2	102,2	118,7
7	12,15	5,2	94,5	13,7	126,8	3,3	5,6	36,1	28,9	96,9	173,3
8	36,45	5,0	77,5	14,0	128,5	3,8	5,3	37,1	27,1	108,6	298,5
9	109,35	1,4	20,4	4,3	34,7	1,4	1,5	15,2	7,3	49,8	124,0

Tabelle 57

Der Einfluß hoher bis sehr hoher N-, B-, Cu-, Mn- und Zn-Konzentrationen auf den Pflanzenertrag und die Aufnahme dieser Nährstoffe (Wasserkulturversuch mit Tomaten 1961 2.Ernte: Sproß + Früchte):

N	B	Cu	Mn	Zn	
<u>VR₈</u>					
12,7	10,4	17,5	10,5	14,4	g Tr.S./Gefäß
640	2,9	1,5	14,6	7,3	ppm i.d.NL
54180	124,0	13,9	936,1	656,5	ppm i.d.Tr.S.
85:1	43:1	9,5:1	64:1	90:1	Konz.i.d.Tr.S. gegenüb.d.NL
3200	14,6	7,3	72,9	36,5	mg/Gef.(Düngung)
<u>686,3^x</u>	<u>1287,4</u>	<u>242,5</u>	<u>9856,9</u>	<u>9466,9</u>	mg ^x bzw.ug/Gef.(Entz.)
21,2	8,8	3,3	13,7	25,7	% Aufn.(Entzug)d. Düngung/Gefäß
<u>VR₉</u>					
4,3	10,0	5,6	7,0	3,1	g Tr.S./Gefäß
1280	8,7	4,4	43,7	21,9	ppm i.d.NL
74650	220,4	94,6	2266,3	1496,6	ppm i.d.Tr.S.
62:1	25:1	22:1	52:1	68:1	Konz.i.d.Tr.S. gegenüb.d.NL
6400	43,7	21,9	218,7	109,4	mg/Gef.(Düngung)
<u>320,3^x</u>	<u>2212,5</u>	<u>531,0</u>	<u>15618,9</u>	<u>4624,7</u>	mg ^x bzw.ug/Gef.(Entz.)
4,9	5,0	2,4	7,1	4,2	% Aufn.(Entzug) d. Düngung/Gefäß

Auch hier kommt die unterschiedliche Aufnahme der gesteigerten Nährstoffe deutlich zum Ausdruck. Die Ergebnisse der 2.Ernte (Sproß + Früchte) entsprechen im wesentlichen denjenigen der 1.Ernte.

Wurzel-Gewichte lufttrocken in g

Wasserkultur 2. Ernte Tomaten:

	VR ₁	VR ₂	VR ₃	VR ₄	VR ₅	VR ₆	VR ₇	VR ₈	VR ₉
N	0,32	0,48	0,54	0,67	0,73	0,73	0,86	0,86	0,34
B	0,23	0,41	0,38	0,51	0,60	0,68	0,56	0,41	0,53
Cu	0,65	0,94	1,05	1,08	1,13	1,06	1,03	1,13	0,51
Mn	0,36	0,48	0,46	0,46	0,45	0,48	0,62	0,52	0,52
Zn	1,22	0,97	1,08	1,05	0,87	1,11	1,04	1,28	0,33

pH-Werte der einzelnen Kulturen bei Versuchsende

Wasserkultur Tomaten:

	VR ₁	VR ₂	VR ₃	VR ₄	VR ₅	VR ₆	VR ₇	VR ₈	VR ₉
N	4,4	3,8	3,8	3,8	4,0	4,3	6,6	6,1	5,0
B	5,0	4,7	5,1	5,1	5,6	5,3	5,5	5,2	5,3
Cu	5,0	4,4	4,5	4,5	4,3	4,1	4,4	4,4	4,7
Mn	5,0	5,1	4,7	5,2	5,1	5,0	5,2	5,3	5,7
Zn	4,5	4,5	4,4	4,3	4,5	4,5	4,4	4,5	4,5

II. Vegetationsversuche mit Mais (Zea mays)

1. Wasserkulturversuche 1961

a) Methodik und Versuchsbedingungen

Mit dem zweiten im Jahr 1961 durchgeführten Wasserkulturversuch sollte überprüft werden, wie Monokotyledonen einerseits und Dikotyledonen andererseits in Bezug auf den Ertrag und den Mineralstoffhaushalt in derartigen Steigerungsversuchen reagieren.

Da im ersten Wasserkulturversuch die Tomate als Versuchspflanze gedient hatte, bot sich für den zweiten Wasserkulturversuch der Mais an, der für eine kurze Vegetationszeit (ca. 6 Wochen) im Spätsommer besonders geeignet schien.

So wurde aus den oben erwähnten Gründen am 10.8.1961 Mais, Sorte "Gelber badischer Landmais", zur Anzucht von Versuchspflanzen ausgesät. Die Samen wurden in gereinigten Hirschauer Quarzsand (s. Sandkulturversuch S. 35) gelegt, der zum besseren Gedeihen der Keimpflanzen eine geringe NPK-Düngung erhalten hatte.

Am 30.8.1961 wurden die vom Endosperm getrennten Maispflanzen nach vorsichtigem Herausschwemmen und gründlichem Abspülen vom Quarzsand befreit und in die dafür vorbereiteten Wasserkulturgefäße eingesetzt, und zwar zwei Pflanzen pro Gefäß. Das Einpflanzen sowie die Zusammensetzung der Nährlösungen und die gesteigerten Nährstoffmengen von Stickstoff, Bor, Kupfer, Mangan und Zink glichen - von Bor abgesehen - dem ersten Wasserkulturversuch mit Tomaten. Die Konzentration von Bor wurde dagegen in allen Varianten des Borversuches um 50% erhöht, da im ersten Wasserkulturversuch selbst die höchste Bor-konzentration keine stärkeren Ertragsdepressionen hervorgerufen hatte.

Bezüglich weiterer Angaben über die Versuchsbedingungen siehe daher Wasserkulturversuch mit Tomaten, Seite 124 ff.

b) Wachstumsbeobachtungen (Wasserkulturversuch mit Mais 1961)

In den ersten Tagen nach dem Auspflanzen am 30.8.1961 macht sich die zur Zeit herrschende warme Witterung (starke Sonneneinstrahlung) und die damit verbundenen hohen Temperaturen im Glashaus zunächst für die Weiterentwicklung der Maispflanzen allgemein nachteilig bemerkbar. In der folgenden Zeit setzt unter etwas gemäßigteren Temperaturen das Wachstum stärker ein und die Pflanzen entwickeln sich recht günstig.

Stickstoff:

Die Stickstoffüberschußsymptome zeigen sich bereits am 4.9. 1961 in VR₈ (3200 mgN/Gefäß) und noch deutlicher in VR₉ (6400 mgN/Gefäß), die sich im Laufe der Vegetation erheblich verstärken. Neben außerordentlichen Wachstumshemmungen kommt es besonders in VR₉ zunächst zu einer schmutzig-grünen Verfärbung der Blätter und gleichzeitigem Auftreten brauner Flecken an den Blatträndern. Das Wachstum wird nach und nach eingestellt, die Blätter der Pflanzen sind streifig aufgehellte und sterben vom Rand her ab. Diese nekrotischen Erscheinungen findet man auch über die gesamten Blattflächen - in teilweise abgeschwächten Formen (braune bis hellbraune Streifen) - verteilt.

Der Stickstoffmangel, der etwa ab 8.9.1961 in VR₁ (ohne zusätzlichen N) zu erkennen ist (Wachstumshemmungen, Aufhellungen der Blätter), reicht, wenn auch zeitlich und in seiner Ausprägung abgestuft, bis VR₅ (400 mgN/Gefäß). Besonders der Pflanzenschaft, die Blattränder, aber auch die inneren Blattflächen der Pflanzen der VR₁ weisen rote bis rotviolette Streifen auf. Diese auffälligen Merkmale sind in geringerem Ausmaß auch noch in den VR₂, VR₃ sowie schwach in VR₄ (200 mg N/Gefäß) zu beobachten. Die günstigste Entwicklung vollzieht sich bei den Pflanzen der VR₆ und VR₇.

Bor:

Am 4.9.1961 sind noch keine gesicherten Unterschiede im Wachstum der Pflanzen innerhalb des Borsteigerungsversuches feststellbar. Eine schwächere Pflanzenentwicklung ist lediglich in der VR₁ (ohne zusätzlichen Bors) angedeutet. In den nun folgenden Tagen und Wochen verstärken sich aber die Bor-mangelerkrankungen dieser Versuchsreihe und breiten sich schließlich unter Abschwächung in VR₂ (0,03 mgB/Gefäß) und minimal auch in VR₃ (0,09 mgB/Gefäß) aus. Die Pflanzen reagieren in diesen Versuchsreihen mit einer mehr oder weniger stark ausgeprägten Wachstumshemmung. In VR₂ und besonders in VR₁ kommen die jüngsten Blätter (Herzblätter) an den Spitzen nicht mehr voll zur Entfaltung, sind von älteren Blättern umschlossen und verkümmern mit fortschreitender Vegetationszeit. Die Blätter werden brüchig (Glasigkeit), hellbraune bis braune Flecken erscheinen an den Blattspitzen, später auch an den Blattflächen und führen zur Streifigkeit (Absterben des Pflanzengewebes); es kommt zur vermehrten Ausbildung von Seitentrieben (büschiger Habitus) und gleichzeitig zu starken Verkrümmungen der gesamten Pflanze. Das üppigste Wachstum zeigen die Pflanzen in der VR₄ und der VR₅ (0,27 und 0,81 mgB/Gefäß). Ein geringer Ertragsabfall kann von VR₆ nach VR₉ hin (2,43 bis 65,61 mgB/Gefäß) wahrgenommen werden, ohne daß es aber zu ausgesprochenen Depressionserscheinungen kommt.

Kupfer:

Toxische Schäden treten schon nach wenigen Tagen (4.9.1961) durch hohe Kupfergaben in VR₈ und in größerem Ausmaße in VR₉ (7,29 und 21,87 mgCu/Gefäß), später auch geringfügig in VR₇ (2,43 mgCu/Gefäß) auf. Neben starken Wachstumsdepressionen (VR₈ und VR₉) erscheinen hellgrüne bis gelbe Streifen auf den Blättern, die eine mehr oder weniger deutlich sichtbare Aufhellung der Pflanzen bewirken. Die Pflanzen der VR₉ stellen bald ihr Wachstum völlig ein und gehen teilweise zugrunde.

Kupfermangel kommt erst etwas später zum Vorschein. Er beginnt mit einem schwächeren Pflanzenwachstum am 8.9.1961 in VR₁ (ohne zusätzlichem Kupfer) und greift nach einiger Zeit auch (vermindert) auf die VR₂ und die VR₃ (0,01 und 0,03 mgCu/Gefäß) über. Eine Aufhellung der jungen Blätter, die mit Streifigkeit verbunden ist (VR₁), scheint ebenfalls ein Merkmal des Kupfermangels zu sein. Der Ertragszuwachs ist zwischen VR₁ und VR₂ am größten, setzt sich aber bis VR₇ (2,43 mgCu/Gefäß) einschließlich fort. Das Ertragsoptimum erstreckt sich etwa von VR₄ bis VR₇ (0,09 bis 2,43 mg Cu/Gefäß).

Mangan:

wie schon wiederholt bei anderen hier beschriebenen Versuchen beobachtet wurde, kommt es anfangs auch bei diesem Manganversuch zunächst nur zu Manganüberschußschäden in VR₈ (gering) und VR₉ (72,9 und 218,7 mgMn/Gefäß), die sich im Laufe der Vegetationszeit noch etwas stärker ausbilden, jedoch nicht das Ausmaß der Kupfertoxizität erreichen. Die hohen Mangankonzentrationen führen in VR₈ und besonders VR₉ gleichfalls zu verschieden stark ausgeprägter Streifigkeit der Blätter (fahlgelbe bis gelbe Streifen).

Am 8.9.1961 stellt sich sichtbar Manganmangel in VR₁ (ohne zusätzlichem Mangan) ein: Der Mais bleibt in der Entwicklung zurück, an den Blättern zeigen sich vereinzelt braune Tupfen und eine Aufhellung der Pflanzen ist unverkennbar. Das Blattgewebe stirbt zunächst teilweise von außen her ab (Braunfärbung) und gelblich bis braune Flecken und Streifen erscheinen auf der gesamten Blattfläche. Fortschreitender Manganmangel führt schließlich örtlich auch zur Zerstörung weiter innen gelegener Blattteile. Die Pflanzen der VR₁ wachsen nur schwach weiter und der Ertragsunterschied gegenüber den folgenden Versuchsreihen wird immer deutlicher. Wie beim Kupferversuch erreicht auch hier der Ertragszuwachs seinen größten Wert von VR₁ nach VR₂, die ebenfalls wie auch VR₃ noch unter schwachem Manganmangel leidet (0,1 und 0,3

mgMn/Gefäß). Am besten haben sich die Pflanzen in VR₄ (0,9 mgMn/Gefäß) entwickelt, jedoch sind die Ertragsdifferenzen zwischen den Versuchsreihen 3 und 7 relativ gering.

Zink:

In dem Zinksteigerungsversuch bilden sich wie in den vorangegangenen Stickstoff-, Kupfer- und Manganversuchsreihen mit Mais früher Überschuß- als Mangelsymptome an den Pflanzen aus. VR₉ bleibt schon bald nach Versuchsbeginn in der Entwicklung zurück (4.9.1961) und die unteren Blätter sind etwas verfärbt (schmutziges Grün bis Graugrün); im fortgeschrittenen Stadium erscheinen gelbe bis gelbgrüne Streifen auf den Blattflächen jüngerer Blätter und verursachen eine Aufhellung der Pflanzen. Diese wiederholt beobachtete Streifigkeit bei toxisch wirkenden Schwermetallkonzentrationen ist bei Zinküberschuß nicht so gleichmäßig über die Blattfläche verteilt (stärkeres und schwächeres Aufhellen der Blätter). Geringere Depressionen sind ebenfalls an den Pflanzen der VR₇ und VR₈ (12,15 und 36,45 mgZn/Gefäß) festzustellen. Durch Zinkmangel hervorgerufene Wachstumshemmungen werden erst am 12.9.1961 in VR₁ (ohne zusätzlichem Zink) deutlich sichtbar und können einige Tage darauf (20.9.1961) in VR₂ (0,05 mgZn/Gefäß) beobachtet werden: Die Pflanzen nehmen eine graugrüne Farbe an und zeigen gleichfalls ein in Richtung der Blattadern verlaufendes Streifenmuster. Von VR₃ bis VR₆ (0,15 bis 4,05 mgZn/Gefäß) entwickeln sich die Pflanzen normal und es scheinen keine nennenswerten Unterschiede im Pflanzenertrag zu bestehen, was auch durch die Ernte am 9.10.1961 bestätigt wird.

c) Versuchsergebnisse:

Ertrag, Nährstoffgehalt und Nährstoffentzug

Die Versuchsdauer des Mais-Wasserkulturversuches erstreckte sich über 40 Tage und entsprach damit etwa derjenigen des Tomaten-wasserkulturversuches (44 Tage). Da unter den gegebenen Verhältnissen eine gute Übereinstimmung der Versuchsbedingungen angenommen werden darf, bietet sich ein Vergleich beider Wasserkulturversuche an.

Erträge

Der Mangelbereich erstreckte sich zum Zeitpunkt der Ernte am 9.10.1961 in Bor- bzw. im Kupfer-, Mangan- und Zinkversuch von VR_1 bis VR_2 bzw. von VR_1 bis VR_3 und breitete sich also nur über wenige Versuchsreihen aus. Dagegen wurde im Stickstoffversuch erst in $VR_{6/7}$ das Ertragsoptimum erreicht.

Der Höchstertrag, der in VR_4 des Zink- und Manganversuches, in VR_5 des Bor- und in VR_7 des Kupfer- und Stickstoffversuches gefunden wurde, schwankte zwischen 17,6 und 24,0 g Trockensubstanz pro Gefäß und ergab einen Durchschnittswert von 21,7 g Trockensubstanz pro Gefäß.

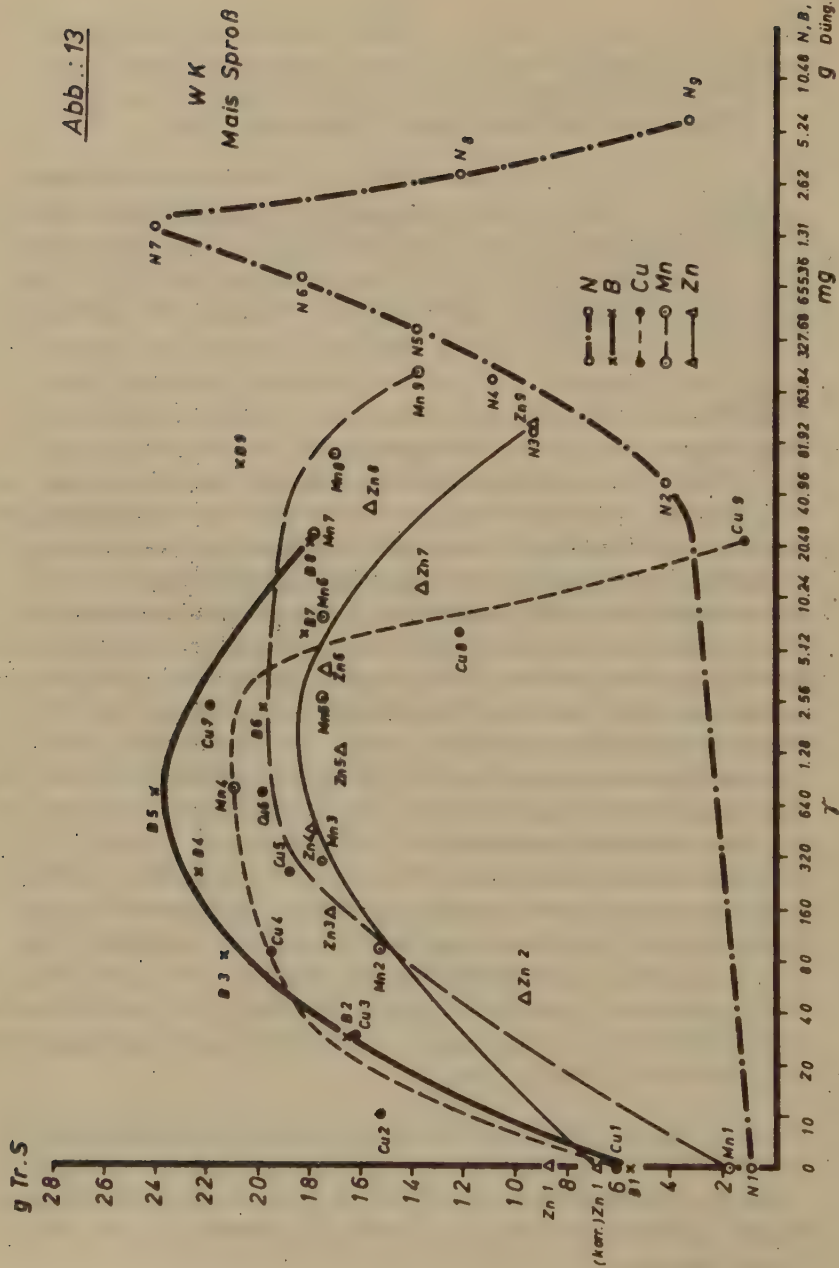
Die geringsten Erträge findet man in N-VR und Mn- VR_1 bei starkem Mangel bzw. in Cu- VR_9 und N- VR_9 bei toxischem Überschuß der entsprechenden Elemente.

Der Einfluß hoher Borgaben (VR_9) wirkt sich auch im Maisversuch nur minimal auf den Pflanzenenertrag aus, obwohl die Bor-konzentration der Nährlösung aller Varianten gegenüber dem Tomatenversuch um 50% erhöht worden war.

Im allgemeinen begannen bei hohen Nährstoffgaben die Wachstumsstörungen in $VR_{7/8}$ und nahmen - vom Borversuch abgesehen - in VR_9 teilweise erheblich zu.

Während sich die Ertragsbildung im Bereich optimaler bis maximaler Ernährung annähernd auf das gleiche Niveau des Tomaten-Wasserkulturversuches einstellte, kam es im Mais-Versuch bei Mangel und Überschuß der variierten Nährstoffe zu gewissen Verschiebungen.

Abb.: 13



Stickstoff: Der Ertragsanstieg vom Stickstoffmangel bis zur optimalen Stickstoffernährung (VR_1 bis VR_7) erfolgte bei beiden Pflanzenarten in gleicher Weise, jedoch reagierte der Mais gegenüber sehr hohen bis stark toxischen Stickstoffgaben empfindlicher als die Tomate.

Bor: Der unterschiedliche Borbedarf monokotyler und dikotyler Pflanzen findet auch hier wieder ihre Bestätigung. Die Tomatenpflanzen benötigten im Vergleich zu Mais ungefähr die 6fache Borkonzentration in der Nährlösung um das Ertragsoptimum zu erreichen (vergleiche die entsprechenden Tabellen S. 138, 158, 159 mit S. 181). Gleichzeitig ergab sich für Mais eine höhere Borverträglichkeit als für Tomaten.

Kupfer: Kupfermangel ruft in VR_1 bei Mais einen größeren Ertragsausfall als bei Tomaten hervor. Obgleich der Mais bei mittleren Kupfergaben (VR_4 bis VR_6) etwas mehr Kupfer aufnimmt als die Tomaten, scheint der Kupferbedarf für beide Pflanzen in diesem Wachstumsstadium derselbe zu sein (vergl. VR_4). Toxische Kupferkonzentrationen wirken sich besonders negativ auf den Maisertrag aus.

Mangan: Zu den ausgeprägtesten Manganmangelerscheinungen kommt es im Wasserkulturversuch mit Mais. Im Vergleich zu den übrigen Mikronährstoffversuchen ist die Substanzbildung in $Mn-VR_1$ am stärksten reduziert. Andererseits sind die Wachstumsstörungen bei sehr hohem Manganangebot geringer als im Tomaten-Wasserkulturversuch.

Zink: Im Gegensatz zum Wasserkulturversuch mit Tomaten verursacht Zinkmangel im Wasserkulturversuch mit Mais stärkere Wachstumsstörungen als Zinküberschuß.

Wie bereits erwähnt, können bei Nährstoffmangel oder -überschuß beim Mais im Vergleich zum Tomaten-Wasserkulturversuch gewisse Abweichungen beobachtet werden, die auch aus den graphischen Darstellungen (Abb. 13) hervorgehen.

Von diesen charakteristischen Veränderungen abgesehen, bleibt die Grundform der Ertragskurven im großen und ganzen erhalten.

Nachfolgend sind die Konzentrationen der gesteigerten Nährstoffe in den Nährlösungen angeführt, bei denen im Maisversuch der Höchstertrag bzw. annähernd der Höchstertrag gebildet wurde. Gleichzeitig werden sie (Konzentrationen) mit denjenigen des Tomaten-Wasserkulturversuches verglichen:

N	B	Cu	Mn	Zn
320	0,012	0,018	0,180	0,090 ppm WKV-Mais
320	0,108	0,018	0,180	0,030 ppm WKV-Tomaten

Mit Ausnahme von Bor und Zink ergeben sich also im Hinblick auf den Nährstoffbedarf für beide Pflanzenarten sehr gute Übereinstimmungen. Die unterschiedlichen Ansprüche der Tomate bzw. des Maises an die Bor- bzw. Zinkversorgung werden auch hier wieder bestätigt.

Nährstoffgehalte und Nährstoffentzüge

Ein wachsendes Angebot der variierten Elemente läßt, wie immer wieder unter den gegebenen Versuchsbedingungen festgestellt werden kann, ihren Gehalt in den Pflanzen ansteigen.

Zum Unterschied von Bor und Kupfer, die beide von VR₁ bis VR₉ kontinuierlich in der Trockensubstanz zunehmen, fällt der Gehalt von Stickstoff, Mangan bzw. Zink von VR₁ bis VR₂ bzw. von VR₁ bis VR₃ zunächst ab. Ein Wiederanstieg der Nährstoffkonzentrationen erfolgt in diesen Versuchen erst ab VR₃ bzw. VR₄ (s. Tabelle 58, S. 177).

Der Befund - Abnahme und Wiederanstieg des Nährstoffgehaltes im Pflanzengewebe - ist offenbar ein Charakteristikum starken bis sehr starken Mangels des betreffenden Nährstoffes im Nährmedium.

Die Gehalte der variierten Nährstoffe schwankten in den einzelnen Versuchen im Mais zwischen:

VR ₂	5,7 -	56,0 mg	N/g	Tr.S.	VR ₉
VR ₁	1,7 -	220,5 ug	B/g	" "	"
VR ₁	1,0 -	174,9 ug	Cu/g	" "	"
VR ₂	9,3 -	1827,5 ug	Mn/g	" "	"
VR ₃	17,8 -	819,2 ug	Zn/g	" "	"

Labelle 58

Der Einfluß gesteigerter Stickstoff-, Bor-, Kupfer-, Mangan- und Zinkgaben auf den Ertrag und den Gehalt an den gesteigerten Elementen (Wasserkulturversuch mit Mais 1961). Die niedrigsten und höchsten Gehalte sind unterstrichen.

	VR ₁	VR ₂	VR ₃	VR ₄	VR ₅	VR ₆	VR ₇	VR ₈	VR ₉
N	0,9	4,1	9,2	10,8	13,8	18,3	24,0	12,1	3,2 g TrS
	8,4	<u>5,7</u>	7,4	9,0	14,1	23,1	31,6	40,6	<u>56,0</u> mgN/g
B	5,6	16,5	21,2	22,3	24,0	19,7	18,2	17,9	20,7 g TrS
	<u>1,7</u>	2,3	4,9	6,8	9,2	12,1	31,1	67,5	<u>220,5</u> ppm B
Cu	6,1	15,2	16,2	19,4	18,8	19,8	21,9	12,1	1,1 g TrS
	<u>1,0</u>	1,1	1,3	2,9	6,3	8,0	8,2	12,7	<u>174,9</u> ppm Cu
Mn	1,8	15,2	17,4	21,0	17,5	17,4	17,8	16,9	13,8 g TrS
	12,3	<u>9,3</u>	18,1	25,7	61,7	131,6	367,1	963,1	<u>1827,5</u> ppm Mn
Zn	8,6	9,5	17,1	17,6	16,7	17,2	13,3	15,5	9,4 g TrS
	22,4	28,9	<u>17,8</u>	23,4	55,5	102,6	266,1	357,1	<u>819,2</u> ppm Zn

Die spezifischen Wirkungen hoher N-, B-, Cu-, Mn- und Zn-Gaben auf den Ertrag und die Nährstoffaufnahme gehen aus dieser Zusammenstellung klar hervor und bestätigen zu einem großen Teil die Ergebnisse des Tomatenwasserkulturversuches, wenn es auch hier und da im Maisversuch zu gewissen Verschiebungen kommt, die vermutlich auch auf das verschiedenartige Verhalten beider Pflanzenarten gegenüber den gesteigerten Nährstoffen zurückzuführen sind.

Mit Erhöhung der Nährstoffkonzentrationen in den Nährlösungen steigen nicht nur die Gehalte, sondern auch die Entzüge dieser Elemente an und erreichen - vom N-Versuch abgesehen - bei leichten (Bor) bis sehr starken (Kupfer) Wachstumsdepressionen in VR₉ ihr Maximum. Der höchste Stickstoffentzug kann dagegen in VR₇ im Höchstertragsbereich festgestellt werden.

Die Gehalte der mit der Grunddüngung zugeführten Nährstoffe unterliegen im Bereich zwischen schwachem Mangel und leichtem bis mittlerem Überschuß der variierten Nährstoffe auch in den Maispflanzen keinen größeren Schwankungen, und wenn, so sind sie sehr wahrscheinlich zufallsbedingt. In den übrigen Varianten - besonders bei mehr oder weniger ausgeprägten Wachstumsstörungen - können zum Teil bedeutende Veränderungen in der Nährstoffaufnahme beobachtet werden.

Bemerkenswert sind im Stickstoffversuch bei sehr starkem Stickstoffmangel (VR₁) die im Vergleich zu Kupfer, Bor und besonders Mangan relativ niedrigen Gehalte der übrigen Elemente, ebenso wie die Abnahme bzw. fallende Tendenz der Konzentration fast aller Nährstoffe von VR₂ nach VR_{4/5} und der beträchtliche Wiederanstieg von VR₅ bis VR₉, obwohl die Erträge bis VR₇ noch einen sehr starken Zuwachs zu verzeichnen haben. Eine Ausnahme machen Phosphor, Kalium und Magnesium, die in VR₉ etwas geringer in den Pflanzen angereichert werden.

Derartige Besonderheiten bei der Nährstoffaufnahme können, wenn auch nicht in diesem Ausmaße, ebenfalls im Tomaten-Wasserkulturversuch festgestellt werden (WKV Tomaten: 1.+2.Ernte).

In B-VR₁ fallen die relativ hohen Gehalte von Mangan, Stickstoff und Zink ins Auge, die offensichtlich bevorzugt aufgenommen werden. Ob die Nährstoffaufnahme bei hohen bis sehr hohen Borgaben allgemein gestört ist, geht aus den Ergebnissen nicht eindeutig hervor, obgleich gewisse Tendenzen sowohl im Mais- als auch im Tomaten-wasserkulturversuch zu erkennen sind.

Ähnlich wie im Borversuch kommt es auch in den übrigen Mikro-nährstoffversuchen bei mittlerem bis starkem Nährstoffmangel oder -überschuß zu Aufnahmestörungen, die sich gewöhnlich in VR₁ in höheren - und in VR₉ aber auch in wenig veränderten oder sogar in niedrigeren Nährstoffkonzentrationen in den Pflanzen äußern.

Im Vergleich zu den übrigen Elementen ragen in Cu-VR₉ die hohen Kalzium- und Bor- und in Mn-VR₉ die herabgesetzten Kalzium- und Magnesiumgehalte heraus.

Toxische Zn-Gaben (VR₉) hemmen die Aufnahme sämtlicher im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Nährstoffe mehr oder weniger deutlich. Die unter diesen Voraussetzungen erheblich verminderten Mangan-, Phosphor-, Stickstoff-, Magnesium- und Kupferkonzentrationen in Mais werden auch in Zn-VR₉ des Tomaten-Wasserkulturversuches bestätigt.

Die Entzüge der nicht variierten Nährstoffe richten sich nach denen unter den jeweiligen Bedingungen hervorgegangenen Erträge und erreichen ihre höchsten Werte allgemein innerhalb des Ertragsoptimums. Die in den Versuchsreihen 1 und 9 beobachteten Veränderungen in der Nährstoffaufnahme finden auch in den entsprechenden Entzugswerten ihren Niederschlag.

Tabelle 59

Mais in Wasserkultur 1961

N-Steigerungsversuch

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. $\mu\text{g-Atom}\%$) und -entzüge (mg bzw. $\mu\text{g/Gefäß}$)

V.R.	N- mg	Düng. N% Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Atom %, Tr. S.						µg-Atom %, Tr. S.					
				N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn			
1	0		0,9	60	16	76	5,4	4,5	182	9,3	336	85			
2	50		4,1	41	14	87	4,8	4,4	86	5,7	109	102			
3	100		9,2	52	14	84	3,9	4,3	86	7,1	95	70			
4	200		10,8	64	11	59	3,5	3,4	88	6,9	80	71			
5	400		13,8	100	10	54	3,3	3,2	94	8,4	82	79			
6	800		18,3	165	16	82	4,1	4,4	106	14,8	114	111			
7	1600		24,0	226	16	66	5,2	6,0	139	16,1	145	98			
8	3200		12,1	290	19	82	5,1	6,0	204	17,7	187	160			
9	6400		3,2	400	18	78	5,5	5,1	237	19,2	225	293			

V.R.	N- mg	Düng. N% Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Entzug						µg-Entzug					
				N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn			
1	0		0,9	7,3	4,3	25,6	1,9	1,0	16,9	5,1	158,7	47,8			
2	50		4,1	23,6	18,4	140,9	8,0	4,4	38,7	15,0	248,0	276,5			
3	100		9,2	67,9	39,9	304,9	14,5	9,7	85,8	41,6	481,2	422,1			
4	200		10,8	96,9	35,9	247,8	15,4	9,0	103,4	47,6	475,4	505,4			
5	400		13,8	194,5	44,2	294,0	18,4	10,7	140,6	74,0	620,3	715,8			
6	800		18,3	422,4	90,8	582,8	30,4	19,6	210,4	171,4	1140,3	1326,2			
7	1600		24,0	758,5	117,3	622,4	50,2	35,0	360,1	244,9	1903,5	1542,4			
8	3200		12,1	492,1	71,2	388,2	24,7	17,7	267,5	135,9	1242,0	1264,8			
9	6400		3,2	179,0	18,0	96,8	7,0	3,9	82,0	39,0	394,7	611,5			

Tabelle 60

Mais in Wasserkultur 1961

B-Steigerungsversuch

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. $\mu\text{g-Atom}\%$) und -entzüge (mg bzw. $\mu\text{g/Gef.}\pm\text{S.}$)

V.R.	B- mg B/ Gef.	Düng. g Tr. S.	mg-Atom %, Tr. S.					$\mu\text{g-Atom} \%, \text{Tr. S.}$				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	5,6	283	30	134	8,9	8,9	16	23	296	288	
2	0,03	16,5	156	18	93	7,6	6,9	21	13	174	103	
3	0,09	21,2	153	19	82	7,7	8,0	45	14	133	107	
4	0,27	22,3	140	16	78	6,7	6,8	63	12	145	92	
5	0,81	24,0	126	16	73	7,2	7,8	85	11	157	92	
6	2,43	19,7	139	18	85	6,6	6,2	112	12	145	103	
7	7,29	18,2	138	16	87	7,0	5,9	287	12	159	108	
8	21,87	17,9	140	17	85	6,7	5,6	624	12	150	104	
9	65,61	20,7	134	16	78	6,0	4,5	2038	10	139	94	
V.R.	B- mg B/ Gef.	Düng. g Tr. S.	mg-Entzug					$\mu\text{g-Entzug}$				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	5,6	220,5	52,2	290,1	19,9	12,1	9,4	79,6	904,2	1045,2	
2	0,03	16,5	362,5	93,2	593,7	50,6	27,7	38,3	137,0	1578,8	1171,2	
3	0,09	21,2	454,0	125,9	680,7	65,4	41,3	103,0	190,7	2140,0	1487,2	
4	0,27	22,3	438,4	113,6	676,9	59,8	36,8	151,0	171,7	1771,4	1336,1	
5	0,81	24,0	424,6	119,0	680,6	69,4	45,4	221,4	163,4	2069,2	1447,6	
6	2,43	19,7	385,5	107,1	653,4	52,5	29,6	238,9	145,0	1569,7	1324,9	
7	7,29	18,2	351,8	90,9	615,3	51,1	26,1	563,7	140,7	1588,4	1279,4	
8	21,87	17,9	352,2	91,9	594,4	48,0	24,2	1210,3	133,7	1481,0	1219,2	
9	65,61	20,7	389,7	100,8	628,9	49,7	22,7	4560,7	135,7	1579,5	1267,7	

Tabelle 61
Mais in Wasserkultur 1961
Cu-Steigerungsversuch

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. μg -Atom $\%$) und -entzüge (mg bzw. μg /Gefäß)

V.R.	Cu-Düng. mg Cu/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Atom%, Tr. S.					μg -Atom%, Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	6,1	230	28	110	8,1	6,9	140	1,6	174	186	
2	0,01	15,2	160	18	82	6,7	4,8	105	1,8	141	120	
3	0,03	16,2	171	23	96	6,9	6,1	118	2,0	169	115	
4	0,09	19,4	146	18	80	6,6	5,5	110	4,5	156	100	
5	0,27	18,8	147	18	82	6,0	5,4	112	9,9	148	98	
6	0,81	19,8	147	18	83	7,5	6,5	125	12,5	166	108	
7	2,43	21,9	139	16	77	6,6	6,3	118	12,8	154	103	
8	7,29	12,1	189	21	113	8,1	7,2	116	19,9	218	168	
9	21,87	1,1	186	17	78	12,1	6,3	339	275,2	244	121	
V.R.	Cu-Düng. mg Cu/Gef.	Ertrag/Gef. g Tr. S.	mg-Entzug					μg -Entzug				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	6,1	198,3	53,2	265,2	20,0	10,3	93,2	6,1	588,8	747,3	
2	0,01	15,2	340,5	83,1	484,6	40,6	17,7	172,8	17,2	1174,8	1190,4	
3	0,03	16,2	389,1	114,4	610,3	44,7	24,1	206,4	21,0	1510,0	1219,0	
4	0,09	19,4	396,8	109,8	609,8	51,5	26,0	232,2	55,4	1667,6	1269,6	
5	0,27	18,8	387,4	104,7	606,8	45,2	24,4	228,6	117,8	1534,0	1208,6	
6	0,81	19,8	408,7	109,7	641,4	59,3	31,0	267,8	157,4	1808,7	1596,6	
7	2,43	21,9	427,6	110,9	657,1	58,3	33,6	280,3	172,9	1854,7	1478,9	
8	7,29	12,1	321,4	77,7	535,0	39,2	21,4	151,4	153,2	1448,8	1333,3	
9	21,87	1,1	27,9	5,8	32,8	5,2	1,7	39,3	187,4	143,9	85,1	

Tabelle 62

Mais in Wasserkultur 1961

Mn-Steigerungsversuch

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. μg -Atom-% und -entzüge (mg bzw. μg /Gefäß)

V.R.	N.N.- in mg/t.N./Gef.	Düng in mg/t.N./Gef.	Ertrag/Gef. g. Tr. S.	mg-Atom %, Tr.S.				µg-Atom %, Tr.S.				
				N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn
1	0,0		1,8	315	32	197	11,9	10,1	345	37	22	247
2	0,1		15,2	207	24	112	8,9	9,3	140	19	17	130
3	0,3		17,4	148	20	95	8,1	7,9	104	16	33	115
4	0,9		21,0	126	19	81	7,6	7,0	110	12	47	115
5	2,7		17,5	169	20	87	10,1	9,1	146	14	112	90
6	8,1		17,4	164	19	90	7,7	6,6	101	12	240	103
7	24,3		17,8	152	18	88	7,9	7,0	123	12	668	98
8	72,9		16,9	159	19	87	7,0	7,4	128	12	1753	98
9	218,7		13,8	165	16	106	5,1	5,6	108	13	3326	92
V.R.	N.N.- in mg/t.N./Gef.	Düng in mg/t.N./Gef.	Ertrag/Gef. g. Tr. S.	mg-Entzug				µg-Entzug				
				N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn
1	0,0		1,8	78,7	17,4	137,6	8,5	4,4	66,7	41,7	21,9	404,8
2	0,1		15,2	441,7	113,8	666,3	54,3	34,6	230,3	174,2	141,5	1370,2
3	0,3		17,4	362,3	105,9	650,8	56,9	33,4	196,5	173,4	315,2	1307,4
4	0,9		21,0	371,5	121,1	661,3	64,1	36,0	250,9	162,0	539,5	1573,0
5	2,7		17,5	412,4	107,6	594,5	70,9	38,6	275,6	157,3	1077,2	1029,9
6	8,1		17,4	398,9	101,8	609,2	53,5	28,1	190,7	135,9	2287,6	1171,5
7	24,3		17,8	378,5	100,5	614,8	56,6	30,2	236,3	134,1	6522,5	1142,5
8	72,9		16,9	376,6	98,0	574,6	47,7	30,4	233,7	127,8	16307,3	1082,6
9	218,7		13,8	317,6	69,2	569,9	28,4	18,6	161,2	110,6	25158,0	826,9

Tabelle 62

Mais in Wasserkultur 1961

Zn-Steigerungsversuch

Mineralstoffgehalte (mg- bzw. $\mu\text{g-Atom}\%$) und -entzüge (mg bzw. $\mu\text{g/Gel}\%$)

V.R.	Zn-Düng. mg Zn/Gel.	Ertrag/Gel. g. Tr. S.	mg-Atom %, Tr. S.					$\mu\text{g-Atom}\%$, Tr. S.				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	8,6	173	21	85	7,7	7,3	75	13	170	34	
2	0,05	9,5	200	27	103	8,8	9,0	93	17	214	44	
3	0,15	17,1	165	23	89	8,1	8,9	90	13	173	27	
4	0,45	17,6	161	20	86	8,9	9,1	121	13	181	36	
5	1,35	16,7	190	21	102	8,1	7,6	105	15	183	85	
6	4,05	17,2	142	17	94	7,6	6,4	93	13	162	157	
7	12,15	13,6	177	21	114	8,1	8,0	93	13	156	407	
8	36,45	15,5	147	15	94	7,6	6,1	128	17	157	546	
9	109,35	9,4	123	12	67	6,4	3,8	74	8	118	1253	

V.R.	Zn-Düng. mg Zn/Gel.	Ertrag/Gel. g. Tr. S.	mg-Entzug					$\mu\text{g-Entzug}$				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn	
1	0,00	8,6	208,2	56,6	283,9	26,6	15,2	69,7	71,4	798,6	192,2	
2	0,05	9,5	266,4	79,9	381,5	33,4	20,7	95,2	104,1	1114,4	273,9	
3	0,15	17,1	395,5	124,0	596,6	55,3	37,2	167,1	146,2	1625,6	503,4	
4	0,45	17,6	396,5	111,5	588,8	62,8	38,6	229,5	142,0	1742,9	411,6	
5	1,35	16,7	443,8	108,5	662,2	53,8	30,8	189,9	160,6	1671,6	924,6	
6	4,05	17,2	342,2	90,6	631,9	52,4	26,7	174,3	137,8	1533,3	1708,4	
7	12,15	13,6	336,7	88,2	609,0	44,4	26,5	137,3	111,4	1163,3	3622,1	
8	36,45	15,5	319,7	73,5	567,7	47,1	22,9	215,8	168,0	1337,0	5543,9	
9	109,35	9,4	160,8	34,1	244,9	24,0	8,6	75,2	50,1	608,3	7662,7	

Einen Überblick über den Einfluß sehr hoher bis toxischer Stickstoff-, Bor-, Kupfer-, Mangan- und Zinkgaben auf den Maisertrag sowie auf den Gehalt und Entzug dieser Nährstoffe geben die nachfolgenden Daten wieder (Wasserkultur mit Mais 1961):

N	B	Cu	Mn	Zn	
<u>VR₈</u>					
12,1	17,9	12,1	16,9	15,5	g Tr.S./Gefäß
640	4,4	1,5	14,6	7,3	ppm i.d.NL
40640	67,5	12,7	963,1	357,1	ppm i.d.Tr.S.
64:1	16:1	9:1	61:1	49:1	Konz.i.d.Tr.S. gegenüb.d.NL
3200	21,9	7,3	72,9	36,5	mg/Gef.(Düngung)
492,1 ⁺	1210,3	153,2	16307,3	5543,9	mg ⁺ bzw.ug/Gef.(Entz.)
15,2	5,5	2,0	22,3	14,7	% Aufn.(Entzug) d. Düngung/Gefäß
<u>VR₉</u>					
3,2	20,7	1,1	13,8	9,4	g Tr.S./Gefäß
1280	13,1	4,4	43,7	21,9	ppm i.d.NL
56020	220,5	174,9	1827,5	819,2	ppm i.d.Tr.S.
44:1	17:1	40:1	42:1	37:1	Konz.i.d.Tr.S. gegenüb.d.NL
6400	65,6	21,9	218,7	109,4	mg/Gef.(Düngung)
179,0 ⁺	4560,7	187,4	25158,0	7662,7	mg ⁺ bzw.ug/Gef.(Entz.)
2,7	6,9	0,8	11,5	6,8	% Auf.(Entzug) d. Düngung/Gefäß

Nachstehend sind für einen Vergleich des Tomaten- und Maisversuches die Ergebnisse der VR₁, VR₉ und derjenigen Versuchsreihe zusammengestellt, die den Höchstertrag erbrachte bzw. vom Mangelbereich her gesehen erstmals ein gesundes und normales Wachstum erkennen ließ.

	N	B	Cu	Mn	Zn
<u>Tom.</u>					
VR ₁	2,2 8,0	2,1 10,3	9,2 0,9	10,9 10,4	17,6 g Tr.S./Gefäß 14,9 mg bzw. µg/g Tr.S.
VR ₆	19,9 26,0	VR ₅ 20,1 14,3	VR ₄ 22,3 1,4	VR ₄ 15,7 30,0	VR ₄ 22,1 g Tr.S./Gefäß 21,4 mg bzw. µg/g Tr.S.
VR ₉	7,6 77,7	14,4 274,9	7,3 100,9	10,2 2697,9	4,9 g Tr.S./Gefäß 1643,6 mg bzw. µg/g Tr.S.
<u>Mais</u>					
VR ₁	0,9 8,4	5,6 1,7	6,1 1,0	1,8 12,3	8,6 g Tr.S./Gefäß 22,4 mg bzw. µg/g Tr.S.
VR ₆	18,3 23,1	VR ₃ 21,2 4,9	VR ₄ 19,4 2,9	VR ₄ 21,0 25,7	VR ₄ 17,6 g Tr.S./Gefäß 23,4 mg bzw. µg/g Tr.S.
VR ₉	3,2 56,0	20,7 220,5	1,1 174,9	13,8 1827,5	9,4 g Tr.S./Gefäß 819,2 mg bzw. µg/g Tr.S.

Auffallend sind die niedrigen Borgehalte in VR₁ und VR₆ des Maisversuches bei erheblicher Substanzbildung und die verschiedene Wirkung toxischer Stickstoff-, Kupfer- und Zinkkonzentrationen auf das Wachstum beider Pflanzenarten.

Wurzel-Gewichte lufttrocken in g/Gefäß (2 Pflanzen)

Wasserkultur Mais:

	VR ₁	VR ₂	VR ₃	VR ₄	VR ₅	VR ₆	VR ₇	VR ₈	VR ₉
N	0,57	0,93	1,56	1,82	1,98	2,50	3,53	2,15	0,57
B	1,29	2,44	2,99	3,03	3,40	2,74	2,51	2,38	2,51
Cu	1,25	2,19	2,24	2,69	2,63	3,21	3,18	2,41	0,55
Mn	0,43	2,29	2,58	3,15	2,71	2,50	2,63	2,36	2,09
Zn	2,50	2,96	3,73	4,03	2,96	2,74	2,37	2,89	1,77

pH-Werte der einzelnen Kulturen bei Versuchsende

Wasserkultur Mais

	VR ₁	VR ₂	VR ₃	VR ₄	VR ₅	VR ₆	VR ₇	VR ₈	VR ₉
N	4,1	3,5	3,3	3,5	3,5	3,2	5,7	6,3	4,7
B	5,8	6,2	6,0	6,1	6,0	6,2	6,4	6,2	6,3
Cu	7,1	6,4	6,2	6,0	6,2	6,0	6,0	6,2	4,2
Mn	3,9	5,5	5,7	5,8	6,0	6,0	6,0	5,9	6,2
Zn	6,7	6,3	5,7	6,1	6,2	6,2	6,4	6,3	6,7

E. DISKUSSION

Die Versuchsergebnisse haben erneut bestätigt, daß eine ungenügende Zufuhr oder Verfügbarkeit eines lebenswichtigen Pflanzennährstoffes sich in mehr oder weniger deutlichen Ertragsausfällen äußert, je nachdem, ob es sich dabei um einen relativen oder absoluten Nährstoffmangel handelt. Dabei kommt es im allgemeinen zu spezifischen Mangelsymptomen an den Pflanzen bzw. an den Pflanzenteilen. Störungen treten aber auch bei einem zu hohen, schon toxisch wirkenden Nährstoffangebot auf. Mit der Erhöhung eines sich im Minimum befindlichen Nährstoffes steigt der Ertrag bis zu einem Maximum an. Bei weiterer Zufuhr verändert sich dieser (Ertrag) zunächst nicht oder nur geringfügig. Schließlich erreicht die Nährstoffkonzentration im Nährmedium eine Höhe, die einen deutlich sichtbaren Ertragsabfall herbeiführt. Der in Form einer Ertragskurve darstellbare Ertragsverlauf läßt sich hiernach in drei Abschnitte unterteilen:

1. der Nährstoffmangelbereich mit seinem Ertragsanstieg bei Nährstoffsteigerung,
2. der sich anschließende Optimal- bzw. Maximalbereich mit dem Ertragsmaximum bei optimaler bzw. maximaler Nährstoffversorgung und
3. der Nährstoffüberschußbereich mit seinem Ertragsabfall bei weiterer Nährstoffzufuhr.

I. Ertragsverhältnisse

Der Einfluß gesteigerter Stickstoff-, Bor-, Kupfer-, Mangan- und Zinkgaben auf den Ertrag von Tomaten und Mais wurde ebenso wie die hierdurch hervorgerufenen Mangel- und Überschußsymptome in den vorangegangenen Kapiteln ausführlich beschrieben. Da es, wie vorausgeschickt, vor allem auf einen Vergleich der Nährstoffwirkung der gesteigerten Elemente ankam, steht zunächst einmal zur Diskussion:

Welche Unterschiede ergeben sich bei der Steigerung von Stickstoff, Bor, Kupfer, Mangan und Zink im Bereich des Nährstoffmangels, bei optimaler bzw. maximaler Nährstoffversorgung und bei toxisch wirkenden Nährstoffgaben im Hinblick auf den Pflan-

zenertrag und auf den Gehalt dieser Nährstoffe in der Pflanzensubstanz?

Welche Schlüsse können aus den Versuchsergebnissen gezogen werden?

Ein sehr anschauliches Bild vermitteln die Ertragskurven, die auf den Seiten 45, 54, 89, 98, 132, 144, 174 zu finden sind. Der Stickstoff, der als Vergleichsbasis gewählt wurde, zeigt in allen hier beschriebenen Versuchen in seiner Wirkung auf die Ertragsbildung eine einheitliche Tendenz. Durch Substanzzuwachs verstärkt sich mit zunehmender Versuchsdauer der Stickstoffmangel und breitet sich innerhalb des Versuches immer weiter aus. Gleichzeitig kann eine Abschwächung der Stickstoff-Überschußerscheinungen festgestellt werden, die umso deutlicher hervortreten, je geringer die anfänglichen Konzentrationsschäden waren. Während sich bis zum ersten Erntetermin das Ertragsoptimum der Stickstoffversuche mit Tomaten allgemein in oder zwischen VR_6 und VR_7 einstellt, wird der Höchstertrag zum zweiten Erntetermin in oder zwischen VR_7 und VR_8 gefunden. Eine Erniedrigung oder eine Erhöhung um den Faktor 2 bewirkt in der vorangegangenen bzw. in der darauf folgenden Stickstoffdüngungsstufe bereits einen bedeutenden Ertragsabfall. Die optimale Nährstoffversorgung mit Stickstoff nimmt also nur einen sehr schmalen Bereich innerhalb der Ertragskurve ein. Sowohl Stickstoffmangel als auch Stickstoffüberschuß beeinflussen normalerweise unter den gegebenen Bedingungen relativ stärker den Frucht- als den Sproßertrag, auch wenn die Ergebnisse des Stickstoff-PVC-Kulturversuches dagegen sprechen. - Wie schon an anderer Stelle erwähnt, traten in diesem Stickstoffversuch, besonders im ersten Vegetationsabschnitt, erhebliche Störungen auf, die wohl als Ursache für diese Abweichungen anzusehen sind. Da der Stickstoffentzug durch die erste Ernte minimal war, stand den Pflanzen im Mangelbereich während der generativen Wachstumsphase noch soviel Stickstoff zur Verfügung, daß der Fruchtertrag in den meisten Fällen bedeutend über dem Sproßertrag lag. Diese Feststellung, die nicht nur im Stickstoffversuch, sondern auch in

den Steigerungsversuchen mit B, Cu, Mn und Zn gemacht werden konnte, ist ein besonderes Merkmal der fVC-Kultur und ihrer Versuchsbedingungen. -

Von den Mikronährstoffversuchen lassen praktisch nur die Ergebnisse der Borversuche einen zufriedenstellenden Vergleich mit denjenigen des Stickstoffversuches zu. Wenn auch in den Steigerungsversuchen mit Kupfer, Mangan und Zink der Mangelbereich aus verschiedenen Gründen (keine absolute Mikronährstofffreiheit der verwendeten Substrate und Nährsalze, äußere Mikronährstoffverunreinigung, gewisser Mikronährstoffgehalt in den für die Versuche herangezogenen Pflanzen) teilweise fehlt, angedeutet oder nur unvollkommen ausgebildet ist, so können jedoch aus den vorliegenden Resultaten gewisse Schlüsse im Hinblick auf den grundsätzlichen Kurvenverlauf gezogen werden.

In der unteren Hälfte des Mangel- und Überschubereiches verläuft die Ertragskurve und somit die Ertragsbildung eines Mikronährstoffes - relativ gesehen - analog derjenigen des Stickstoffes. Während die Stickstoffertragskurve fast bis zum Ertragsmaximum steil ansteigt, und anschließend sehr bald ebenso steil wieder abfällt, zeigen die Mikronährstoffe in bezug auf die Ertragsbildung in der oberen Hälfte der Mangel- und Überschubzone und in dem dazwischen liegenden Höchst-ertragsgebiet ein davon abweichendes Bild. Sowohl der Ertragsanstieg als auch der Ertragsabfall erfolgt in diesen Abschnitten bedeutend langsamer, und der Maximalbereich erstreckt sich über mehrere Steigerungsstufen, obgleich der Steigerungsfaktor der Mikronährstoffe im Gegensatz zum Stickstoff (2) in den hier durchgeführten Versuchen zwischen 3 und 6 lag. Der Form der Stickstoffertragskurve am nächsten kommt diejenige der Borertragskurve.

Steigerungsfaktoren der gesteigerten Elemente:

N	B	Cu	Mn	Zn	
2	4	5	6	5	sand- u. fVC-Kultur
2	3	3	3	3	Wasserkultur

Nach Erreichen des Ertragsmaximums rief eine weitere Erhöhung der Mikronährstoffkonzentration im Nährmedium zu Beginn der Versuche - wohl ebenfalls wie Stickstoff - stärkere Wachstumsdepressionen an den Pflanzen hervor, die teilweise von mittleren bis stärkeren Chlorosen (Cu, Mn und Zn) begleitet waren. Jedoch gingen die leichten bis mäßigen toxischen Wachstumschäden (VR₇ bis VR₈ teilweise VR₉) im Laufe der Vegetationszeit erheblich, so daß sich in vielen Fällen in VR₇ und VR₈ gegen Versuchsende Höchstserträge einstellten, wodurch der Höchstsertragsbereich eine Erweiterung erfuhr.

Der Höchstsertragsbereich der Mikronährstoffe lag z.Zt. der zweiten Ernte bei:

B	Cu	Mn	Zn	
VR ₅ -VR ₇	VR ₄ -VR _{7/8}	VR ₄ -VR ₈	VR ₄ -VR ₈	Tomaten-Versuche
VR ₄ -VR ₇	VR ₄ -VR _{7/8}	VR ₄ -VR _{7/8}	VR ₅ -VR ₇	Mais-Versuche

Die nachfolgenden Zahlen geben die Faktoren an, um die die Mikronährstoffe nach Einstellen des Höchstsertrages gesteigert werden konnten, ohne anhaltende Ertragsdepressionen zu bewirken:

B	Cu	Mn	Zn	
16	125-625	625	625	Tomaten-, Sand- u. PVC-Kulturversuche
9	27-81	81	81	Tomaten-Wasser-kulturversuche
27	27-81	27-81	9	Mais-Wasser-kulturversuche

Die Unterschiede zwischen Stickstoff und den Mikronährstoffen einerseits und zwischen B, Cu, Mn und Zn andererseits gehen aus diesen Ergebnissen ebenso klar hervor wie diejenigen, die zwischen den einzelnen Nährsubstraten und Pflanzenarten bestanden.

Tabelle 64 :

Die Gehalte der gesteigerten Elemente innerhalb des höchsten-
tragsgebietes, bezogen auf die Trockensubstanz:

1. = Erste Ernte Sproß 2. = Zweite Ernte Sproß
3. = Zweite Ernte Früchte

	N	B	Cu	Mn	Zn	
	Mg/g	ppm	ppm	ppm	ppm	
1.	21,4	48,7	6,2-23,9	13,5-396,1	23,3-107,7	SK Tom.
2.	19,7	10,8-165,2	2,2-56,0	10,2-594,6	31,8-376,1	
3.	18,0	9,0- 13,8	3,0-11,4	5,0- 27,2	11,7- 27,6	
1.	29,2	16,9- 45,1	14,6	5,8- 81,3	18,8- 32,2	FVCK Tom.
2.	10,1	18,2-140,1	1,9-17,0	18,6-499,1	29,5-370,3	
3.	11,8	9,1- 12,5	1,2- 6,3	6,1- 40,6	12,9- 54,2	
1.	41,9	10,6- 68,3	1,8-22,6	15,6-541,4	16,4-286,9	WK Tom.
2.	37,4	17,2- 78,9	1,3-17,6	16,9-727,1	23,4-273,4	
3.	19,9	7,7- 9,8	1,0- 8,6	6,4- 72,3	7,5- 33,6	
	31,6 (Nur eine Ernte: Sproß)	4,9- 12,1	2,9- 8,2	25,7-367,1	23,4-102,6	WK Mais

Die Versuche zeigen, daß Tomaten und Mais gegenüber hohen Mikro-
nährstoffgaben erstaunliche Toleranz aufweisen. Diese Ergebnis-
se stehen in guter Übereinstimmung mit den Untersuchungen von
KÜHN und SCHAUMLÖFFEL (1961) und KÜHN (1962) über die Wirkung
hoher Mikronährstoffgaben auf das Wachstum von Getreide und ver-
schiedenen Gemüsearten. Bemerkenswert ist die relativ hohe Ver-
träglichkeit der Versuchspflanzen gegenüber hohen Borkonzentra-
tionen im Nährmedium, wenn auch immer wieder beobachtet werden
kann, daß Optimum und Toxizität für den Mikronährstoff Bor viel
näher zusammenliegen als für die übrigen Mikronährstoffe wie
z.B. Kupfer, Mangan und Zink.

Aus den vorliegenden Ergebnissen darf geschlossen werden, daß
bei einem optimalen Tomaten- und Maisertrag folgende Gehalts-
werte als völlig ausreichend anzusehen sind:

N	B	Cu	Mn	Zn	
mg/g	ppm	ppm	ppm	ppm	
20-40	20-40	2,0-12	25-100	25-100	<u>Tomaten:</u>
10-20	9-12	2,5- 6	7- 15	10- 20	Sproß
					Früchte
					<u>Mais:</u>
25-30	5-10	3 - 8	25-100	25-100	Sproß

Bei darunter liegenden werten wird man sehr bald mit Nährstoffmangel in den Pflanzen rechnen müssen. Die Gehaltswerte bestätigen also im großen und ganzen die in der Literatur hierüber gemachten Angaben. Im Gegensatz zum Stickstoff brauchen - wie die Versuche ergaben, und wie es auch immer wieder bestätigt wird - wesentlich höhere Mikronährstoffgehalte in den Pflanzen äußerlich nicht in Erscheinung zu treten. Die bemerkenswert hohe Toleranz der Tomaten- und Maispflanzen gegenüber hohen bis sehr hohen Mikronährstoffgaben zeigte sich nicht nur im Sproß-, Frucht- und Wurzelsertrag, sondern auch im Gewicht und in der Anzahl der Früchte. Im Höchstertragsbereich ergaben sich zur Zeit der 2. Ernte hierfür folgende Durchschnittswerte:

Tomaten

Sproß g Tr.S.	Früchte g Tr.S.	Fruchtgew. g Tr.S.	Anz.d.Frü. pro Gef.	wurzel g lufttr.
36,7	39,0	2,5	15,8	3,5 SK
19,8	39,3	1,9	21,2	3,4 PVCK
6,2	6,0	1,7	3,6	0,6 WK(B,Mn)
9,6	6,1	1,3	4,6	1,1 WK(Cu,Zn)

Wie sich Nährstoffmangel und Nährstoffüberschuß bei Tomaten auf den Sproß-, Frucht- und Wurzelertrag sowie auf das Fruchtgewicht und die Anzahl der Früchte auswirkten, ist in den nachfolgenden Tabellen zusammengefaßt (2.Ernte):

Tabelle 65 a:

Der Einfluß von Nährstoffmangel auf den Sproß-, Frucht- und Wurzelertrag sowie auf das Fruchtgewicht und die Anzahl der Früchte:

	Sproß g Tr.S.	Früchte g Tr.S.	Fruchtgew. g Tr.S.	Anz.d.Fr. pro Gef.	Wurzel g lufttr.	
N VR ₁₋₆	0,2-24,8	0,0-15,6	0,0-2,2	0,0- 7,3	0,1-2,6	
B VR ₁₋₅	0,2-39,9	0,0-33,3	0,0-3,3	0,0-10,5	0,1-3,3	SK
MnVR ₁₋₃	18,4-29,6	28,0-36,3	1,9-2,6	13,5-15,0	1,7-2,7	
N VR ₁₋₆	1,3-26,0	2,5-22,0	1,1-2,8	1,5- 7,8	0,7-3,6	
B VR ₁₋₅	7,1-18,4	0,0-29,8	0,0-2,3	0,0-13,3	0,2-2,6	PVCK
MnVR ₁₋₂	17,0-17,8	22,3-18,7	2,1-1,8	10,8-10,3	2,7-2,3	
N VR ₁₋₅	0,9- 4,5	0,3- 2,7	0,3-1,0	1,0- 2,8	0,3-0,7	
B VR ₁₋₄	1,1- 5,3	0,0- 3,7	0,0-1,6	0,0- 2,3	0,2-0,5	
CuVR ₁₋₃	4,8- 7,6	1,1- 3,6	0,7-1,0	1,5- 3,8	0,7-1,1	WK
MnVR ₁	3,9	3,0	0,9	2,7	0,4	
ZnVR ₁	7,4	4,0	1,1	3,5	1,2	

Tabelle 65 b:

Der Einfluß von Nährstoffüberschuß auf den Sproß-, Frucht- und Wurzelsertrag sowie auf das Fruchtgewicht und die Anzahl der Früchte:

	Sproß g Tr.S.	Früchte g Tr.S.	Fruchtgew. g Tr.S.	Anz.d.Fr.	Wurzel g lufttr.	
N VR ₈₋₉	61,5-1,5	67,5-0	1,9-0	35,5-0	4,1-0,2	
B VR ₉	13,1	8,6	0,9	10,0	0,7	
CuVR ₉	29,9	27,0	1,9	14,0	2,6	SK
MnVR ₉	8,5	4,0	1,6	2,5	0,6	
ZnVR ₉	27,6	40,0	1,8	22,3	3,3	
N VR ₈	17,5	16,5	0,8	22,0	1,9	
B VR ₈	16,8	29,2	1,2	24,5	1,6	
MnVR ₈	15,7	28,7	1,6	18,0	2,5	PVCK
ZnVR ₈	19,3	42,3	1,4	31,0	2,1	
N VR ₈₋₉	11,7-4,3	1,0-0	0,4-0	2,8-0	0,9-0,3	
B VR ₈₋₉	5,1-5,2	5,3-4,9	1,6-1,2	3,3-4,0	0,4-0,5	
CuVR ₉	3,0	2,6	1,0	2,5	0,5	WK
MnVR ₉	5,5	1,4	0,5	3,0	0,5	
ZnVR ₉	1,7	1,4	1,0	1,5	0,3	

Hoher bis sehr hoher Nährstoffüberschuß äußert sich demnach ertragsmäßig gesehen in ähnlicher Weise wie ausgeprägter Nährstoffmangel: In beiden Fällen wird der generative Teil der Pflanze stärker in Mitleidenschaft gezogen als der vegetative. Nährstoffmangel und Nährstoffüberschuß führen also zu einem veränderten Sproß-Frucht-Verhältnis, wie dies auch in der Tabelle 66 deutlich zum Ausdruck kommt.

Tabelle 66 :

Der Einfluß gesteigerter Nährstoffgaben auf das Sproß-Frucht-Verhältnis bei Tomaten:

	Mangel	optim.-max. Versorgung	Überschuß	
N :	0,99-1,59	1,20-0,91	-	
B :	5,78-1,20	0,94	0,71-1,52	
Cu:	-	0,94	1,11	SK
Mn:	0,66-0,82	0,94	0,96-2,13	
Zn:	-	0,94	0,69	
N :	0,43-1,53	0,79	1,06	
B :	29,91-0,62	0,50	0,58	
Cu:	0,70-0,74	0,50	0,72 (1Pfl.)	PVCK
Mn:	0,62-1,13	0,50	0,55	
Zn:	0,61-0,63	0,50	-	
N :	3,62-1,68	2,02-1,81	12,05	
B :	5,68-1,43	1,06	0,95-1,06	
Cu:	4,40-2,05	1,57	1,15	WK
Mn:	1,30	1,06	3,78	
Zn:	1,87	1,57	1,22	

Stickstoff: Mit abnehmendem Stickstoffmangel stieg, wie aus den Zahlen zu ersehen ist, sowohl im Sandkultur- als auch im PVC-Kulturversuch das Sproß-Frucht-Verhältnis von 0,99 bis 1,59 bzw. von 0,43 bis 1,53 an und fiel anschließend bei weiterer Erhöhung der Stickstoffgabe zum Höchstertragsbereich hin wieder ab. Das bedeutet, daß bei extremem bis mittlerem Stickstoffmangel der zur Verfügung stehende Stickstoff vorwiegend während des vegetativen Wachstums zur Wirkung kam und daß mit zunehmendem Stickstoffangebot im unteren und mittleren Stickstoffmangelbereich der Fruchtertrag immer weiter hinter dem Sproßertrag zurückblieb. Ähnliche Erscheinungen

können z.B. in der Praxis im Getreidebau beobachtet werden (MENGEL 1961). Bei mangelhafter Stickstoffversorgung kann die Stickstoffkonzentration im Boden, durch Auswaschung verstärkt, dermaßen absinken, daß latenter Stickstoffmangel auftritt, wodurch bei Getreide zwar ein höherer Strohertrag, aber ein niedrigerer Körnerertrag gefunden wird. Eine Stickstoffauswaschung durch das tägliche Gießen der Pflanzen scheint - begünstigt durch die Eigenart der Sand- und PVC-Kultur - nicht ausgeschlossen zu sein; denn die Stickstoffentzüge durch die Pflanzen lagen bei der erstgenannten Kulturart zwischen 48,0 und 66,6% (VR_2-VR_6) und bei der letztgenannten zwischen 11,8 und 74,3% (VR_2-VR_5). Somit darf angenommen werden, daß noch eine relativ große Stickstoffmenge in den entsprechenden Versuchssreihen vorhanden, aber für die Pflanzen nicht mehr erreichbar war.

Dagegen kam es im Tomatenwasserkulturversuch innerhalb des Stickstoffmangelbereiches lediglich in VR_1 ($=3,62$) zu einem stärker abweichenden Sproß-Frucht-Verhältnis, während es sich in den folgenden Versuchssreihen bei abnehmendem Stickstoffmangel bis zum Ertragsmaximum (VR_2-VR_7) praktisch nicht veränderte. Dieser Befund scheint die vorher ausgesprochenen Vermutungen zu bestätigen. Obwohl auch hier die Stickstoffausnutzung in den VR_2-VR_7 zwischen 43,4 und 62,5% lag, muß doch berücksichtigt werden, daß die Versuchsdauer - im Gegensatz zum Sandkultur- und PVC-Kulturversuch (101 bzw. 115 Tage) - nur 44 Tage betrug und die Erträge entsprechend niedriger ausfielen.

Stark toxische Stickstoffgaben wirkten sich, wie bereits erwähnt, besonders auf den Fruchtertrag negativ aus. Das zeigte die Versuchssreihe 9 des Sandkulturversuches, in der die Fruchtentwicklung gänzlich unterblieb, und sehr deutlich die Versuchssreihe 8 des Wasserkulturversuches, in der der Sproßertrag sein Maximum erreichte, der Fruchtertrag dagegen auf ein Minimum absank (Sproß-Frucht-Verhältnis = 12,05). Der Einfluß stark schädigender Stickstoffgaben auf das Sproß-Frucht-Verhältnis wurde auch durch die Ergebnisse des PVC-Kulturversuches in VR_8 bestätigt. Die für diese Versuchssreihe angege-

benen Sproß- bzw. Fruchterträge entstammen Einzelerträgen (4 Parallelgefäße), die beträchtliche Unterschiede aufwiesen. Eine der parallelen, die ertragsmäßig dem Höchstertrag entsprach, hatte ein Sproß-Frucht-Verhältnis von 0,97; für zwei andere Parallelgefäße, in denen die Pflanzen starke bis sehr starke Wachstumsdepressionen zeigten, konnte ein Sproß-Frucht-Verhältnis von 1,69 bzw. 3,24 errechnet werden. In dem vierten Parallelgefäß gingen sogar die Pflanzen vorzeitig zugrunde.

Bor, Kupfer, Mangan und Zink: In den Borversuchsreihen, in denen es trotz sehr starken Bormangels noch zur Fruchtausbildung kam, erreichte das Sproß-Frucht-Verhältnis seine höchsten Werte von allen Mikronährstoffversuchen (SK VR₄ = 5,78; PVCK VR₄ = 26,91; WK VR₂ = 5,68). An zweiter Stelle sind die entsprechenden Ergebnisse des Kupfer-Wasserkulturversuches zu nennen (VR₁ = 4,40). Die Resultate der Manganversuche lassen diesbezüglich keine sichere Aussage zu; lediglich im Wasserkulturversuch war bei Manganimangel in VR₁ (= 1,30) der Sproß-Frucht-Quotient leicht erhöht. Zu einem Vergleich bot sich in diesem Zusammenhang die VR₁ des Kupfer-Wasserkulturversuches an. Ein ähnliches Bild ergab sich für den Zink-Wasserkulturversuch bei Zinkmangel in VR₁ (= 1,87).

Schwacher bis mäßiger Nährstoffmangel schien ebenso wie schwacher bis mäßiger Nährstoffüberschuß das Sproß-Frucht-Verhältnis nur unwesentlich zu beeinflussen. Bemerkenswert sind jedoch die abfallenden Werte in Bor-VR₈ (= 0,71) und Zink-VR₉ (= 0,69) des Sandkulturversuches, in denen der Bor- bzw. Zinküberschuß am Versuchsende nur mäßig in Erscheinung trat. Als Erklärung hierfür würde eine stärkere Abschwächung der Bor- bzw. Zinktoxizität während der zweiten Hälfte der generativen Wachstumsphase infrage kommen, wie dies auch die entsprechenden Sproß- und Fruchterträge dieser Versuchsreihen offensichtlich zu bestätigen scheinen.

Andererseits stieg bei starker Mangantoxizität das Sproß-Frucht-Verhältnis in VR₉ des Sand- und Wasserkulturversuches (= 2,13 bzw. 3,78) wieder deutlich an.

Anhand der vorliegenden Versuchsergebnisse kann also angenom-

men werden, daß ein Mangel oder ein Überschuß von Stickstoff, Bor, Kupfer, Mangan und Zink sich in der Grundtendenz in bezug auf den Sproß- und Fruchtertrag sowie auf das Sproß-Frucht-Verhältnis von Tomaten sehr ähnlich auswirkt. Die hierbei auftretenden Unterschiede sind vermutlich nicht nur auf die spezifischen Eigenschaften dieser Nährstoffe, sondern auch auf das Ausmaß des Nährstoffmangels und des Nährstoffüberschusses zurückzuführen.

II. Mineralstoffhaushalt

In den vorliegenden Untersuchungen sollte nicht nur der Einfluß der von Mangel bis zur Toxizität gesteigerten Nährstoffe Stickstoff, Bor, Kupfer, Mangan und Zink auf die Ertragsbildung, sondern auch auf die mineralische Zusammensetzung der Pflanzen studiert werden.

Die Aufnahme und die gegenseitige Beeinflussung der Nährstoffe bei ihrer Aufnahme ist immer wieder Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen. Ein Einblick in dieses, für die Pflanzenernährung hoch interessante Thema wurde in einem gesonderten Kapitel (s. Seite 20) gegeben, in dem auch auf die Problematik derartiger Studien hingewiesen wurde.

Die Nährstoffaufnahme stellt entgegen früherer Auffassungen einen sehr verwickelten, eng mit dem pflanzlichen Stoffwechsel verbundenen Vorgang dar. Die spezifischen Eigenschaften der einzelnen Ionenarten, die Konzentration und das Verhältnis der Nährstoffe zueinander, der unterschiedliche Bedarf und das unterschiedliche Aufnahme- und Wahlvermögen der einzelnen Pflanzenarten und Pflanzensorten, die Wasserstoffionenkonzentration des Nährmediums, klimatische Einflüsse und vieles mehr sind Faktoren, die sich in ihrer Gesamtheit auf die Nährstoffaufnahme auswirken. Nach den heutigen Kenntnissen und Erkenntnissen sind es teils passive, teils aktive Prozesse, wobei die letzteren überwiegen, die für die Nährstoffaufnahme und den Nährstofftransport verantwortlich gemacht werden. Schon aus diesen angeführten Beispielen geht hervor, daß

die Beeinflussung der Nährstoffaufnahme verschiedene Ursachen haben kann. Die Deutung dieser Vorgänge ist nach wie vor recht unterschiedlich. Die oft voneinander abweichenden Ergebnisse und Folgerungen werden verständlicher, wenn man dabei möglichst viele Faktoren berücksichtigt, die das Pflanzenwachstum und die Nährstoffaufnahme zu steuern vermögen.

Stickstoff: In diesem Zusammenhang soll als erstes der Einfluß gesteigerter Stickstoffgaben auf die mineralische Zusammensetzung der Tomaten- und Maispflanzen besprochen und diskutiert werden.

Der Einfluß von Stickstoffverbindungen auf die Aufnahme anderer anorganischer Nährstoffe wurde u.a. von SCHARRE und JUNG (1955a,b), BOLLE-JONES (1955), MULDER (1956) und in jüngerer Zeit von WELTE und WERNER (1964), CUNNINGHAM (1964a,b,c), CUNNINGHAM und KARIM (1965) und LEEFER (1965) eingehend untersucht.

Im allgemeinen wurde gefunden, daß Pflanzen, die Nitratstickstoff erhielten, einen höheren Kationengehalt aufwiesen (K, Ca, Mg) als solche, die mit Ammoniumstickstoff aufwuchsen. Auf der anderen Seite war der Schwefel- und Phosphorgehalt oft bei Ammoniumstickstoffernährung der Pflanze höher als bei Nitratstickstoffernährung. Der Einfluß der Stickstoff-Form auf die Kalzium- und Magnesiumaufnahme war in vielen Untersuchungen deutlicher als auf die Kaliumaufnahme.

Es ist bekannt, daß die Ionen des Ammoniumnitrats (NH_4NO_3), das in allen N-Steigerungsversuchen als Stickstoffdünger bis zur Toxizität gesteigert wurde, je nach der Wasserstoffionenkonzentration unterschiedlich schnell aufgenommen werden. Mit zunehmender Wasserstoffionenkonzentration werden die Nitrationen, mit abnehmender Wasserstoffionenkonzentration die Ammoniumionen in der Aufnahme begünstigt. Im schwach sauren Bereich (pH 5,5 bis 6,5) gleichen sich beide Ionenarten in ihrer Wirkung. Danach kann Ammoniumnitrat je nach Reaktionszustand des Nährmediums physiologisch sauer, neutral oder alkalisch reagieren.

Die im Sandkulturversuch durch hohe bis sehr hohe Stickstoff-

gaben verursachten Verschiebungen in der Makro- und Mikronährstoffaufnahme werden durch die Ergebnisse der rVCK- und WK-Versuche (Tomaten und Mais) größtenteils bestätigt. In den wasserkulturversuchen kommt es in diesem Bereich nicht nur zu einer verstärkten Aufnahme von Kupfer und Zink, sondern auch von Bor und Mangan. Dieser Unterschied zwischen den Kulturarten dürfte zu einem großen Teil auf eine bessere Bor- und Manganverfügbarkeit in den Wasserkulturversuchen zurückzuführen sein, in denen u.a. der pH-Wert und die Kalziumkonzentration bedeutend niedriger lagen als in den SK/PVCK-Versuchen (vergleiche auch Ca-Gehalte der entsprechenden Versuchspflanzen). Ein erhöhtes Stickstoffangebot scheint im Gegensatz zu den Tomatenversuchen keinen Einfluß auf die Ca- und Mg-Aufnahme des Maises auszuüben, was vielleicht auf den recht niedrigen pH-Wert und auf den geringen Bedarf monokotyler Pflanzen an zweiwertigen Kationen zurückgeführt werden dürfte.

Aus den Untersuchungen geht einwandfrei hervor, daß im Bereich maximaler bis toxischer Stickstoffernährung (NH_4NO_3) die Aufnahme der Alkali- (K^+) und Erdalkali-Ionen (Ca^{++} und besonders Mg^{++}) zum Teil erheblich herabgesetzt ist. Dieser Befund steht im Einklang mit den eingangs angeführten Ergebnissen zahlreicher Forscher.

Die von dem Wurzelgewebe absorbierten NH_4 -Ionen werden sehr bald nach ihrem Eintritt in das Cytoplasma in organische Verbindungen eingebaut, wobei H-Ionen frei werden. Die Folge einer NH_4 -Düngung ist demnach eine hohe Wasserstoffionenkonzentration in den Außenzellen der Pflanzenwurzeln, die überwiegend für die verminderte Aufnahme von K und besonders von Ca und Mg verantwortlich zu machen sind. Ionen mit einer relativ hohen Beweglichkeit wie z.B. die K-Ionen werden weniger dadurch beeinflußt als solche, mit einer geringeren Beweglichkeit, wie z.B. die Ca- und Mg-Ionen. Ob es sich hierbei außerdem um eine Konkurrenz zwischen NH_4 -Ionen und Ca- und Mg-Ionen um eine spezifische Trägerstelle handelt, wie es z.B. für Kalium und Rubidium angenommen wird (EckSTEIN und HAGEN 1952), ist bisher noch nicht bekannt.

Die oft durch NO_3 -N geförderte Kationenaufnahme, insbesondere

von Ca- und Mg-Ionen, ist im Zusammenhang mit der NO_3 -Assimilation im Cytoplasma der Pflanzenwurzeln zu sehen, die einen Wasserstoffionen verbrauchenden Prozeß darstellt. Hierdurch werden die mit den übrigen Kationen, wie z.B. Ca- und Mg-Ionen bei der Aufnahme stark konkurrierender H^+ -Ionen kompensiert, worauf der günstige Effekt einer NO_3 -Düngung zurückzuführen ist.

Wenn man einmal vom Stickstoffsandkulturversuch absieht, in dem die Ca-Aufnahme mit steigenden Stickstoffgaben begünstigt zu sein scheint, dürfte die in PVCK- und WK-Versuch (Tomaten) bei hohem bis sehr hohem Stickstoffangebot beträchtliche Herabsetzung der K-, Ca- und Mg-Gehalte in den Pflanzen zu einem großen Teil auf eine bevorzugte NH_4 -Aufnahme zurückzuführen sein. Neben dem Einfluß der N-Düngung auf die K-, Ca- und Mg-Aufnahme wurde in der vorliegenden Arbeit bei hoher bis sehr hoher Stickstoffversorgung aber auch eine erhöhte Aufnahme von Mn, B und besonders von Cu und Zn festgestellt. Dieser Anstieg der Mikronährstoffgehalte, die im Vergleich zu K, Ca und Mg im Nährmedium in weitaus geringerer Konzentration ausreichend vorlagen, kann mit Hilfe physikochemischer Reaktionen nicht erklärt werden. Da Kupfer, Zink und Mangan normalerweise als Ionen aufgenommen werden, und in vielen Fällen innerhalb der Pflanzen mit organischen Substanzen Chelatverbindungen eingehen, wird vermutet, daß bei hohem bis sehr hohem Stickstoffangebot chelatbildende organische Verbindungen in den Pflanzen vermehrt auftreten. Eine weitere Erklärung hierfür wäre aber auch eine verstärkte Bildung spezifischer Trägersubstanzen, die auch die erhöhte Boraufnahme erklären würde.

Die vorliegenden Ergebnisse, auf praktische Verhältnisse übertragen, besagen, daß die durch die verstärkte Anwendung von Stickstoff hervorgerufenen Ertragssteigerungen nicht nur die Entzüge der Makronährstoffe, sondern auch diejenigen der Mikronährstoffe erheblich ansteigen lassen, wodurch eine optimale Mikronährstoffversorgung bei weiterer Intensivierung der N-Düngung in Zukunft nicht immer gesichert sein dürfte.

Da Mikronährstoffbedarf und Mikronährstoffdüngung im Vergleich

zu den Makronährstoffen im allgemeinen sehr gering sind, war es interessant zu erfahren, ob sich gesteigerte Mikronährstoffgaben auf die Aufnahme der übrigen Pflanzennährstoffe auswirkten. Wie aus der vorliegenden Arbeit entnommen werden kann, sind größere einseitige Veränderungen in der Mineralstoffaufnahme normalerweise nur unter bestimmten Wachstumsbedingungen - in diesem speziellen Fall bei stärkerem Mangel oder Überschuß eines Nährstoffes - zu erwarten.

Bor: Die von anderen Autoren bei Bormangel wiederholt beobachtete verminderte Ca-Aufnahme wurde im Bor-Sandkulturversuch und im Bor-PVC-Kulturversuch (Tomaten-Sproß VR₁ bis VR₄) bestätigt, jedoch ließen die entsprechenden Ergebnisse der Bor-Wasserkulturversuche (Tomaten und Mais) keinen derartigen Einfluß erkennen. Borüberschuß rief dagegen in allen Versuchen eine relative oder absolute Erniedrigung des Ca- und Mg-Gehaltes in den Pflanzen hervor, während die K-Aufnahme im SK- und PVCK-Versuch unter derartigen Bedingungen begünstigt zu sein schien (s.hierzu auch die Entzüge der betreffenden Nährstoffe).

Kupfer: Da im PVCK- und besonders im SK-Versuch der Kupfermangel gering oder überhaupt nicht ausgeprägt war, sind in diesen Versuchen nur die in VR₈ bzw. VR₉ bei sehr hohen Kupfergaben auftretenden Wechselwirkungen in der Nährstoffaufnahme erwähnenswert. Bei starken bis sehr starken Wachstumsdepressionen war in diesen Versuchsreihen die P- und Ca-Aufnahme sowohl im Tomatensproß als auch in den Tomatenfrüchten mehr oder weniger deutlich gehemmt. Im Mais-WK-Versuch kam es in VR₉ bei sehr hoher Cu-Düngung, die mit sehr starken Wachstumsdepressionen verbunden war, zu einem unterschiedlichen Abfall der N-, P-, K-, Mg- und Zn-Gehalte in der Pflanzensubstanz, während Ca, B und Mn in diesen VR ihren höchsten Wert erreichten. Andererseits führten toxische Kupferkonzentrationen im Tomatenwasserkulturversuch z.Zt. der 1.Ernte bei starkem Ertragsabfall in VR₉ nur zu einer geringen Erhöhung des N-, P-, K-, Ca- und Mg-Gehaltes, dagegen schien die Mn-Aufnahme sogar erheblich erniedrigt. Z.Zt. der 2.Ernte konnte in diesem Versuch allgemein eine erhöhte Nährstoffaufnahme in VR₁ (Cu-Man-

gel) und eine gehemmte Nährstoffaufnahme in VR_9 (Cu-Uberschuß) festgestellt werden.

Mangan: Ähnliche Resultate ergaben sich im Mn-WK-Versuch mit Tomaten, wobei toxische Mn-Gaben in VR_9 den Ca-, Mg-, Cu- und Zn-Gehalt zum Teil stärker herabsetzten. Auch in den übrigen Versuchen (SK mit Tom., WK mit Mais) verursachten hohe Mn-Konzentrationen eine vergleichbar gestörte Ca-, Mg-, Cu-, Zn- und teilweise auch P-Aufnahme. Davon abweichend schien der Mg- und Cu-Gehalt im PVCK-Versuch in der höchsten Mangansteigerungsstufe eher erhöht als erniedrigt.

Zink: Variierte Zinkgaben hatten in allen Versuchen nur einen geringen Einfluß auf die mineralische Zusammensetzung der Pflanzen. Lediglich bei ausgeprägtem Zinkmangel und Zinküberfluß ergaben sich bei gleichzeitigem stärkeren Ertragsabfall gewisse Verschiebungen in der Nährstoffaufnahme. Oft schien unter diesen extremen Bedingungen, besonders in den Wasserkulturversuchen mit Tomaten und Mais die Nährstoffaufnahme insgesamt oder teilweise gehemmt zu sein. Hohe Zinkgaben wirkten sich teilweise besonders auf die P-, Ca-, Mg- und Mn-Aufnahme negativ aus. Einerseits war die Cu-Aufnahme (Gehalt und Entzug) bei schwachem bis mäßigem Zinküberschuß zum Zeitpunkt der 2. Ernte im Sandkultur- und PVC-Kulturversuch (Tomaten: Sproß und Früchte) sichtlich erhöht, andererseits setzten hohe bis sehr hohe Zinkkonzentrationen den Cu-Gehalt der Maispflanzen in VR_9 erheblich herab. Die diesbezüglichen Ergebnisse des Tomaten-Wasserkulturversuches lassen jedoch keine derartigen Zinkeinflüsse deutlich erkennen.

Die Nährstoffaufnahme, die wie das Pflanzenwachstum letztlich einen Summeneffekt darstellt, ist einerseits abhängig vom Nährstoffangebot (Art, Menge, Verhältnis und Verfügbarkeit der Nährstoffe) im Nährsubstrat, andererseits unterliegt sie pflanzenphysiologischen Gesetzmäßigkeiten, die bis zu einem gewissen Grad auch in den Erbanlagen der Pflanzen zu suchen sind.

Ein gestörter Stoffwechsel der Pflanzen äußert sich allgemein nicht nur in einem eingeschränkten Wachstum der Pflanze oder

spezifischer Pflanzenteile, sondern er wirkt sich auch negativ auf die stoffwechselabhängige aktive Nährstoffaufnahme aus. Ein zu niedriges Angebot eines Nährstoffes führt ebenso wie ein stark überhöhtes Angebot zu wesentlichen Veränderungen im Ablauf wichtiger pflanzenphysiologischer Prozesse, so daß es hierbei zu beträchtlichen Wechselwirkungen kommen kann, die nur schwer zu überschauen sind. Schließlich sind es sehr zahlreiche Faktoren, die für die Aufnahme der Nährstoffe verantwortlich gemacht werden müssen.

Die Veränderte Nährstoffaufnahme bei stärkerem Mangel oder Überschuß von Stickstoff, Bor, Kupfer, Mangan und Zink bei gleichzeitiger erheblich verminderter Ertragsbildung dürfte daher überwiegend auf den unter diesen Bedingungen veränderten Stoffwechsel der Pflanze zurückzuführen sein, wenn auch eine direkte gegenseitige Beeinflussung der Nährstoffe selbst nicht immer auszuschließen ist.

F. ZUSAMMENFASSUNG

Der Umstand, daß ein exakter Vergleich von den in großer Anzahl vorliegenden Versuchen und Ergebnissen über den Einfluß der Makro- und Mikronährstoffe auf den Ablauf pflanzenphysiologischer Prozesse und auf das eng damit verbundene Pflanzenwachstum sowie auf die Mineralstoffaufnahme der Pflanzen in den meisten Fällen praktisch unmöglich oder sehr zweifelhaft ist, gab den Anstoß für die Durchführung der vorliegenden Arbeit.

Es war nicht nur interessant, unter vergleichbaren Bedingungen den Einfluß auf den Ertrag und auf den Bedarf der Pflanzen an den einzelnen zur Steigerung gelangenden Nährstoffen zu studieren, sondern auch ihre Verträglichkeit und ihren Einfluß auf die Aufnahme der nicht variierten Pflanzennährstoffe zu untersuchen. Aus diesem Grunde wurden zahlreiche monofaktorielle Steigerungsversuche mit Stickstoff, Bor, Kupfer, Mangan und Zink auf Quarzsand, Polyvinylchlorid (PVC) und in Waserkulturen durchgeführt.

Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefaßt werden:

1. Mangel und Überschuß von N, B, Cu, Mn und Zn führten je nach Intensität zu einem mehr oder weniger gestörten Wachstum sowohl der Gesamtpflanze als auch einzelner Pflanzenteile. Unter extremen Bedingungen kam es früher oder später sogar zum Absterben derselben. In vielen Fällen reichten die in den Substraten und Nährsalzen als Verunreinigungen vorliegenden Konzentrationen der zur Steigerung gelangenden Nährstoffe aus (besonders Kupfer und Zink, teilweise auch Mangan), um stärkeren Nährstoffmangel mit all seinen Auswirkungen nicht in Erscheinung treten zu lassen. Die Aufnahme der in diesen Versuchen variierten Nährstoffe während der Anzucht der Versuchspflanzen sowie gewisse Verunreinigungen von außen (Zink) verstärkten diese unerwünschten Effekte.
2. Die bei Nährstoffmangel oder Nährstoffüberschuß an den Pflanzen (Tomate und Mais) sichtbaren Symptome wurden ein-

gehend beschrieben.

3. Prinzipiell verhielten sich hinsichtlich der Ertragsbildung die Nährstoffe N, B, Cu, Mn und Zn innerhalb des Mangel- und überschußbereiches sehr ähnlich. Die Unterschiede waren mehr quantitativer Art. Auffallend war jedoch die sehr unterschiedliche Größe des Höchstertragsbereiches. In sämtlichen Stickstoffversuchen erstreckte er sich über ein bis zwei, dagegen in den Versuchen von Bor (zwei bis drei), Kupfer (drei bis vier), Mangan (drei bis vier) und Zink (zwei bis vier) über mehrere Düngungsstufen. Diese unterschiedliche Toleranz der Pflanzen gegenüber Stickstoff und den Mikronährstoffen Bor, Kupfer, Mangan und Zink tritt noch klarer hervor, wenn man berücksichtigt, daß der Steigerungsfaktor der verabreichten Nährstoffmengen zwischen zwei aufeinander folgenden Versuchsvarianten bei Stickstoff = 2, Bor = 3-4, Kupfer = 3-5, Mangan = 3-6 und Zink = 3-5 betrug. Daraus geht hervor, daß die Mikronährstoffe Bor, Kupfer, Mangan und Zink relativ viel pflanzenverträglicher waren als Stickstoff.
4. Sowohl Stickstoff als auch Bor, Kupfer, Mangan und Zink hatten Einfluß auf das Sproß-Frucht-Verhältnis. Dieser war allgemein bei Nährstoffmangel oder Nährstoffüberschuß, je nach Intensität, mehr oder weniger erhöht.
5. Eine Erhöhung des Angebots des sich in Mangel befindlichen Nährstoffes führte in den Versuchsreihen 1-4/5 allgemein nur zu einer relativ geringen Konzentrationsänderung des betreffenden Nährstoffes in der Pflanze. Entweder nahm in diesem Versuchsbereich der Gehalt der gesteigerten Nährstoffe nur langsam in der Pflanzensubstanz zu oder nahm in den ersten Steigerungsstufen sogar ab. Letzteres trat teilweise innerhalb der Borversuche und stärker in den Stickstoffversuchen hervor. Diese Unterschiede in der Nährstoffaufnahme und in der Substanzbildung schienen weniger vom betreffenden Nährstoff als vielmehr von den jeweiligen Versuchsbedingungen (z.B. Substrat, Konzentration des variierten Nährstoffes im Substrat, Verfügbarkeit des Nährstoffes im Substrat) abhängig zu sein. Eine verstärkte Aufnahme der

gesteigerten Nährstoffe erfolgte größtenteils ab $VR_{5/6}$, teilweise ab $VR_{7/8}$ mit zunehmendem Nährstoffüberangebot.

Während die Gehalte der variierten Mikronährstoffe allgemein in den Früchten bedeutend niedriger lagen als in den Sprossen, und die Konzentrationsunterschiede der betreffenden Elemente zwischen beiden Pflanzenteilen mit erhöhtem Nährstoffangebot noch beträchtlich zunahmen, führten Stickstoffgaben im Stickstoffmangelbereich zu einem höheren Stickstoffgehalt in den Früchten als in den Sprossen. Erst bei stärkerem Stickstoffüberschuß verschob sich die Stickstoffverteilung zugunsten des Sprosses.

Zu den höchsten Entzügen an den gesteigerten Nährstoffen kam es überwiegend bei schwachem bis mittlerem Nährstoffüberschuß im Substrat.

Tomaten- und Maispflanzen zeigten einen unterschiedlichen Nährstoffbedarf und eine unterschiedliche Verträglichkeit gegenüber den Mikronährstoffen.

6. Der Einfluß gesteigerter Gaben von N, B, Cu, Mn und Zn auf die Aufnahme der übrigen Nährstoffe war relativ gering und größtenteils ertragsbedingt.

Ein stark erhöhtes Stickstoffangebot erniedrigte teilweise die Aufnahme von K, Ca und Mg, andererseits stiegen unter diesen Voraussetzungen die Gehalte von B, Mn und besonders die von Cu und Zn an.

Zu größeren Verschiebungen der Nährstoffaufnahme kam es innerhalb der Bor-, Kupfer-, Mangan- und Zinkversuche nur bei starkem Mangel und Überschuß dieser Mikronährstoffe, wobei in vielen Fällen die Aufnahme (Gehalt) sämtlicher nicht variierten Nährstoffe verstärkt (Mangelbereich) oder erniedrigt (Überschußbereich) war.

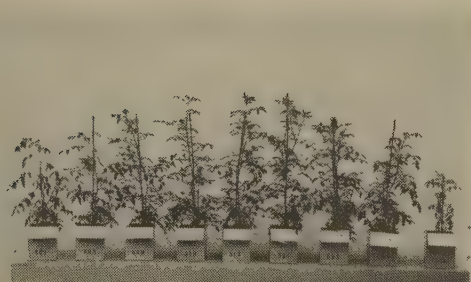
Gefäßversuche mit TOMATEN in
Sandkultur 1961

Stickstoffversuch



Versuchsreihe	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gefäß-Nr.	647	649	653	657	663	665	669	673	677
mg N/Gefäß	0	50	100	200	400	800	1600	3200	6400

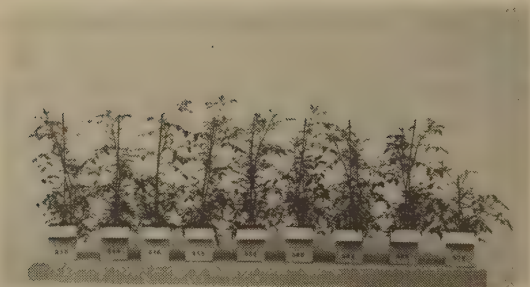
Manganversuch



Versuchsreihe	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gefäß-Nr.	501	505	509	513	517	521	525	529	533
mg Mn/Gefäß	0	0,01	0,06	0,36	2,16	12,96	77,76	466,56	2799,36

Gefäßversuche mit TOMATEN in
Sandkultur 1961

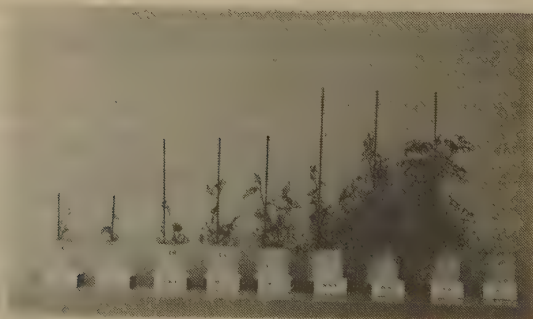
Zinkversuch



Versuchsreihe	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gefäß-Nr.	540	544	546	552	556	560	564	568	572
mg Zn/Gefäß	0	0,01	0,05	0,25	1,25	6,25	31,25	156,25	781,25

Gefäßversuche mit TOMATEN in
PVC-Kultur 1962

Stickstoffversuch



Versuchsreihe	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gefäß-Nr.	2	8	10	13	18	23	27	29	36
mg N/Gefäß	0	37,5	75,0	150	300	600	1200	2400	4800

Gefäßversuche mit TOMATEN in
PVC-Kultur 1962

Borversuch



Versuchsreihe	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gefäß-Nr.	145	152	153	158	162	165	937	939	942
mg B/Gefäß	0	0,0075	0,03	0,12	0,48	1,92	7,68	30,72	122,88

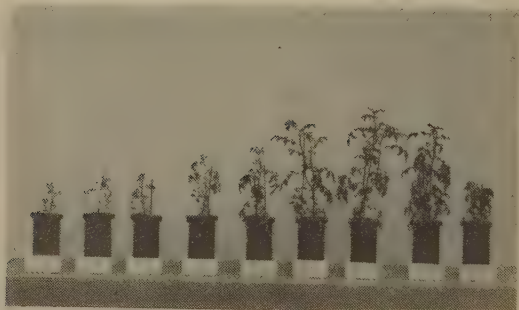
Zinkversuch



Versuchsreihe	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gefäß-Nr.	40	43	45	49	53	59	61	68	71
mg Zn/Gefäß	0	0,0075	0,038	0,19	0,94	4,69	23,44	117,19	585,94

Gefäßversuche mit TOMATEN in
Wasserkultur 1961

Stickstoffversuch



Versuchsreihe	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gefäß-Nr.	1	5	10	14	19	21	27	31	34
mg N/Gefäß	0	50	100	200	400	800	1600	3200	6400

Borversuch



Versuchsreihe	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gefäß-Nr.	145	152	155	157	164	168	170	175	185
mg B/Gefäß	0	0,02	0,06	0,18	0,54	1,62	4,86	14,58	43,74

Gefäßversuche mit TOMATEN in

Wasserkultur 1961

Kupferversuch

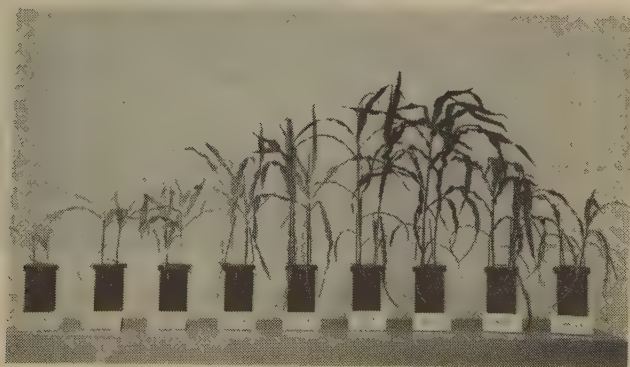


Versuchsreihe	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gefäß-Nr.	111	115	118	121	127	130	135	138	142
mg Cu/Gefäß	0	0,01	0,03	0,09	0,27	0,81	2,43	7,29	21,87

Gefäßversuche mit MAIS in

Wasserkultur 1961

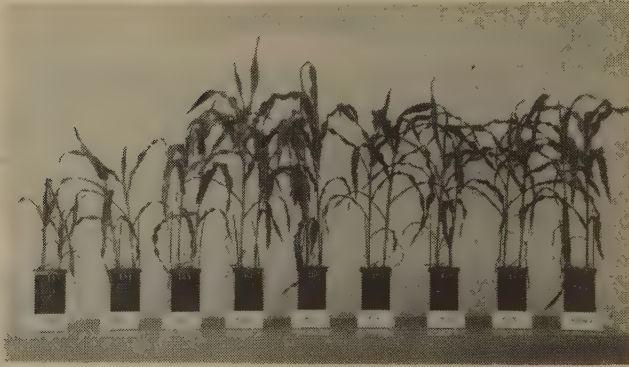
Stickstoffversuch



Versuchsreihe	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gefäß-Nr.	2	5	11	14	18	21	26	32	36
mg N/Gefäß	0	50	100	200	400	800	1600	3200	6400

Gefäßversuche mit MAIS in
Wasserkultur 1961

Borversuch



<u>Versuchsreihe</u>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gefäß-Nr.	147	151	154	160	161	167	170	175	180
mg B/Gefäß	0	0,02	0,06	0,18	0,54	1,62	4,86	14,58	43,74

Kupferversuch



<u>Versuchsreihe</u>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gefäß-Nr.	110	114	118	122	128	131	131	139	144
mg Cu/Gefäß	0	0,01	0,03	0,09	0,27	0,81	2,43	7,29	21,87

G. LITERATURVERZEICHNIS

- Agarwala, S.C., Sharma, C.P., und Kumar, A. Interrelationship of iron and manganese supply in growth, chlorophyll and iron porphyrin enzymes in barley plants. *Plant Physiol.* 39, 603-609 (1964)
- Agerberg, L.S., und Roats, L. Försock med bor. II. Åren 1953-1961 *Lantbrukshögskolans Medd., Ser.A.,* 10, 1-23 (1964)
- Ahmed-Bakr, M.B., und Twyman, E.S. Relative toxicity of manganese and cobalt to tomato plant. *J.exp.Bot.* 4, 164-172 (1953)
- Albert, L.S. Ribonukleinsäuregehalt, Bormangelerscheinungen und Verlängerung der Tomatenwurzelspitzen. *Plant Physiol.* 40, 649-652 (1965)
- Allen, A.W., und Arnon, D.I. Studies on nitrogen fixing bluegreen algae. *Physiol. Plantarum* 8, 653-660 (1955)
- Anderson, L., und Evans, H.J. Effect of manganese and certain other metal cations on isocitric hydrogenase and malic enzyme activities in *Phaseolus vulgaris*. *Plant Physiol.* 31, 22-28 (1956)
- Arnon, D.I. Functional aspects of copper in plants. In: *Copper metabolism*, S.443. The John Hopkins Press, Baltimore, 1950.
- Arnon, D.I. Chloroplasts and photosynthesis. *Brookhaven Symposia in Biol.* 11, 181-235 (1958)
- Arnon, D.I., und Stout, F.R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiol.* 14 (1939)

- Bachulin, M.D. Die Kupferdüngung in den Moorböden.
In: Spurenelemente in der Landwirtschaft, S.331-378. Akademie Verl.,
Berlin 1958.
- Banerjee, V.N. Effect of pretreating potato tubers
with some micronutrients on sprouting
and tuberyield.
Indian Potato J.G., 51-52 (1964)
- Bergh, H. Bestimmung von Aminosäuren, Cystin,
Methonin, Tyrosin und Tryptophan in
tierischen und pflanzlichen Produkten.
Acta Agric. Scand.2, 158 (1952)
- Bergmann, W. Methoden zur Ermittlung mineralischer
Bedürfnisse der Pflanzen. In: Ruhland,
W., Handbuch der Pflanzenphysiologie -
Band IV - Die mineralische Ernährung
der Pflanzen, S.37-89. Springer Verl.,
Berlin, Göttingen, Heidelberg 1958.
- Besse, D., und Goetz, B. Chemische und histologische Blattana-
lysen von Wein (*Vitis vinifera*), der
auf Boden von verschiedenem Nährstoff-
gehalt wuchs.
Wein-Wiss.Fachzeitschr.dtsch.Weinbau
18, 533-548 (1963)
- Biddulph, O. The translocation of minerals in plants.
Mineral nutrition of plants, S.261-275,
Univ.Wisconsin Press 1953.
- Biebl, R. Borwirkung auf *Fisum sativum*.
Jb.wiss.Bot.90, 731-749 (1942)
- Bingham, F.T., und
Martin, J.P. Effects of soil phosphorus on growth
and minor elements nutrition of citrus.
Soil.Sci.Soc.Amer.Proc.20, 382-385
(1956)
- Boawn, L.C., und Leggett, G.E. Zinc deficiency of the Russet Burbank
potato.
Soil Sci. 95, 137-141 (1963)

- Boawn, L.C., Viets, F.G.,
und Crawford, C.L. Zinc contents and deficiency symptoms
of 26 crops grown in a zinc deficient
soil.
Soil Sci. 78, 305-316 (1954)
- Bradfield, J.R.G. Plant carbonic anhydrase.
Nature 159, 467-468 (1947)
- Brenchley, W.E., und
Warrington, K. The role of boron in the growth of
plants.
Ann. Botany 41, 167-187 (1927)
- Brennan, E.G., und Shive,
J.W. Effect of calcium and boron nutrition
of the tomato on the relation between
these elements in the tissues.
Soil Sci. 66, 65-75 (1948)
- Broeshart, H., und van
Schouwenburg, J.Ch. Early diagnosis of mineral deficien-
cies by means of plant analysis.
Neth. J. Agr. Sci. 9, 108-117 (1961)
- Brown, J.C., und Foy,
C.D. Effect of Cu on the distribution of
P, Ca and Fe in barley plants.
Soil Sci. 98, 362-370 (1964)
- Brown, J.C., und Harmer,
P.M. The influence of copper compounds on
the yield, growth pattern, and com-
position of spring wheat and corn
grown on an organic soil.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 15, 284-291
(1950)
- Brown, J.C., und Specht,
A.W. Iron, the limiting element in a chlo-
rosis. II. Copper-phosphorus induced
chlorosis dependent upon plant spe-
cies and varieties.
Plant Physiol. 30, 457-462 (1955)
- Brown, J.C., Tiffin, L.O.,
und Holmes, R.S. Carbohydrate and organic acid meta-
bolism with ^{14}C distribution by Cu
in Thatcher wheat.
Plant Physiol. 32, 38-42 (1958)
- Brown, L.C., und Wilson,
C.C. Some effects of zinc on several spe-
cies *Gossypium* L.
Plant Physiol. 27, 812-817 (1952)

- Bünemann, G. Auswirkungen verschieden hoher Mineralstoffversorgung auf Mineralstoffgehalt und Qualität der Früchte. XVth internat.horticult.Congr., Brussels 2, 143-150 (1962)
- Burger, O.G., und Hauge, S.M. Relation of manganese to the carotene and vitamin contents of growing crop plants. Soil Sci.72, 303-313 (1951)
- Burghardt, H. Beiträge zum Eisen-Mangan-Antagonismus der Pflanzen. Flora 143, 1-30 (1956)
- Burström, H. Über die Schwermetallkatalyse der Nitratassimilation. Planta 29, 292-305 (1939)
- Cain, J.G. The adsorption and distribution of mineral nutrients in apple trees as effected by nutrient supply. Proc.Amer.Soc.hort.Sci.62, 53-66 (1953)
- Carlson, G.W., und Olson, R.V. Iron-manganese rations in nutrient solutions in relations to the chlorosis of sorghum plants. Proc.Soil Sci.Soc.Amer. 15, 251-254 (1950)
- Chang, C.C. Effects of manganese induced chlorosis on the absorption and translocation of zinc by soybean plants. Toiwonja 2, 59-64 (1963)
- Collander, R. Selective absorption of cations by higher plants. Plant Physiol. 16, 691 (1941)
- Conway, E.J., und Duggan, F. A cation carrier in the yeast cell wall. Biochem.J.69, 265 (1958)
- Cooper, E.E., und Girton, R.E. Physiological effects of manganese deficiency related to age in soybeans (Glycine max.). Amer.J.Bot.50, 105-110 (1963)

- Dakhore, R.C., Baik, P.S., und Das, N.B. Effect of copper on the uptake of minerals by wheat plants on Delhi soil. Indian J. agric. Sci. 33, 219-225 (1963)
- Dawson, C.R. The copper protein ascorbic acid oxidase. In: Copper metabolism S. 18. The John Hopkins Press, Baltimore 1950.
- Day, R., und Franklin, G. Plant carbonic anhydrase. Science 104, 363-365 (1946)
- Dev, G. Studies on the influence of nitrogen or phosphate applications on the composition and nutrient uptake of wheat plants. Agrochimica 9, 80-89 (1964)
- Dorf Müller, W. Über den Einfluß des Bors auf den Wasserhaushalt der Leguminosen. Planta 32, 51-65 (1941)
- Drouineau, G., und Mazoyer, R. Contribution à l'étude de la toxicité du cuivre dans les sols. Ann. agron. 13, 31-53 (1962)
- Drozdow, S.N. Der Einfluß des Cu auf die Photosyntheseaktivität in Blättern von Sommerweizen: Ref. in: Ber. der wissenschaftl. Biol. 132, 258 (1959)
- Dyar, J.J., und Webb, K.I. A relationship between boron and auxin in ^{14}C translocation in bean plants. Plant Physiol. 36, 672-676 (1961)
- Eaton, F. Deficiency, toxicity and accumulation of boron in plants. J. agric. Res. 69, 237 (1944)
- Eichel, B., Wainio, W.W., Person, P., und Cooperstein, S.J. A partial separation and characterization of cytochrome oxidase and cytochrome. J. biol. Chemistry 183, 89-103 (1950)

- Emmert, F.H. Plant analysis and fertilizer problems.
Publication 8, 231-243 - Amer.Inst.of
biological Science, Washington 6, D.C.
(1961)
- Epstein, E. Mechanism of ion absorption by roots.
Nature 171, 83 (1953)
- Epstein, E. Mineral nutrition of plants: mechanism of uptake and transport.
Ann.Rev.Plant Physiol.7, 1 (1956)
- Epstein, E. Spaces, barriers and ion carriers:
ion absorption by plants.
Amer.J.Bot.47, 393 (1960)
- Epstein, E. The essential role of calcium in selective cation transport by plant cells.
Plant Physiol. 36, 437 (1961)
- Epstein, E. Mutual effects of ions in their absorption by plants.
Agrochimica 6, 293-322 (1962)
- Epstein, E., und Hagen, C.E. A kinetic study of the absorption of alkali cations by barley roots.
Plant Physiol. 27, 457-474 (1952)
- Epstein, E., und Jefferies, R.L. The genetic basis of selective ion transport in plants.
Ann.Rev.Plant Physiol.15, 169-184 (1964)
- Epstein, E., und Leggett, R.L. The absorption of alkaline earth cations by barley roots: kinetics and mechanism.
Amer.J.Bot.41, 785 (1954)
- Erkama, J. Effect of copper on iron uptake of plants.
Acta Chem.Scand.3, 850 (1949)
- Erkama, J. On the effect of copper and manganese on the iron status of higher plants.
Lotaya 3, 53 (1950)

- Eyster, C., Brown, T.E., und Tanner, H.A. Manganese requirements with respect to respiration and the Hill-reaction in *Chlorella pyrenoidosa*. Arch. Biochem. Biophysics 64, 240-241 (1956)
- Eyster, C., Brown, T.E., Tanner, H.A., und Hood, S.L. Manganese requirements with respect to growth Hill-reaktion and photosynthesis. Plant Physiol. 33, 235-241 (1958)
- Fredrick, G.F. Ann. N.Y. Acad. Sci. 88, 385 (1960)
Zit. in: Biochem. d. Mineral- und Spurenelemente, Akad. Verlagsgesellsch., Frankfurt/M. 1963.
- Foy, C.D., und Barber, S.A. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22, 57 (1958)
Zit. n. Gerloff, G.C., Ann. Rev. Plant Physiol. 14, 107-124 (1963)
- Gauch, H.S., und Dugger, W.M. The role of boron in the translocation of sucrose. Plant Physiol. 28, 457 (1953)
- Gauch, H.S., und Dugger, W.M. The physiological action of boron in higher plants: A review and interpretation. Agr. Exp. Sta. Maryland Tech. Bull. A-80, 1-43 (1954)
- Gerretsen, F.C. Manganese in relation to photosynthesis I. Carbon dioxide assimilation and the typical symptoms of deficiency in oats. Plant and Soil 1, 346-358 (1949)
- Green, D.E. Electron transport and oxidative phosphorylation. Advances Enzymol. 21, 73 (1959)
- Greenwood, E.A.N., und Hallsworth, E.G. I. Studies on the nutrition of forage legumes. II. Some interactions of calcium, phosphorus, copper and molybdenum on the growth and chemical composition of *Trif. subterraneum* L. Plant and Soil 12, 97-127 (1960)

- Griffiths, D.E., und Whar- Studies of electron transportsystem.
ton, D.C. Pt. XXXVI: Properties of copper in
cytochrome oxidase.
J.biol.Chemistry 236, 1857 (1961)
- Guinlan-Watson, T.A.F. Aldolase activity in zinc deficient
plants.
Nature 167, 1033 (1951)
- Günzel, G. Der Einfluß des Mangans auf Qualität
und Fermentgehalt einiger Kulturpflan-
zen.
Z.Pflanzenbau und Pflanzenschutz 6,
134 (1955)
- Hallsworth, E.G., Green- Copper and cobalt in nitrogen fixa-
wood, E.A.N., und Wilson, S. tion.
B. Nature 187, 79 (1960)
- Hallsworth, E.G., Green- Studie on nutrition of forage legumes:
wood, E.A.N., und Yates, III. The effect of copper on nodula-
M.G. tion of Trifolium subterraneum and
Trif.repens.
Plant and Soil 20, 17-33 (1964)
- Harris, G.H. Some effects of microelements on
growth and storage of carrots and
turnips.
Proc.Amer.Soc.Hort.Sci.43, 219-224
(1943)
- Henke, O., und Mihatsch, H. Beitrag zum Stoffwechsel chlorotischer
Pflanzen - I. Mineralstoffwechsel.
Albrecht Thaer Archiv 2, 519-536
(1963)
- Henkens, Ch.H. Mangankmangel und dessen Beseitigung.
Landwirtsch.Forsch. 16.Sonderh.,
66-71 (1962)
- Hernandez-Medina, E., und Effects of calcium-boron relationship
Lugo-Lopez, M.A. on growth and production of the pine
apple plant.
J.Agric.Univ.Puerto-Rico 42, 207-223
(1958)

- Hernandez-Medina, E., und Shive, J.W. Calcium-boron relationships in the nutrition of corn and the distribution of these elements in the plants. J.Agr.Univ.Fuerto-Rico 30, 251-291 (1946)
- Hewitt, E.J. The resolution of the factors in soil acidity: Some effects of manganese toxicity. Progr.Rept. I. Ann.Rept. Long Ashton Research Sta. 1945, 50-61 (1946)
- Hewitt, E.J. The role of the mineral elements in plant nutrition. Ann.Rev.Plant.Physiol. 2, 25-52 (1951)
- Hewitt, E.J. Some aspects of micronutrient element metabolism in plants. Nature 180, 1020 (1957)
- Hewitt, E.J. The essential nutrient elements: Requirements and interactions in plants In: Plant Physiol., Vol. III S. 137-329 Acad. Press, New York-London 1963.
- Hiatt, A.J., und Ragland, J.L. Manganese toxicity of Burly tobacco. Agron.J. 55, 47-49 (1963)
- Hoagland, D.R. Lectures on the inorganic nutrition of plants. Chronica Botanica Company, Waltham, Mass. USA 1948.
- Hoagland, D.R., und Broyer, T.C. Plant Physiol. 11, 471 (1936)
- Hoagland, D.R., und Broyer, T.C. J.Gen.Physiol. 25, 865-880 (1942)
- Hoagland, D.R., und Davis, A.R. Protoplasma 6, 610-629 (1929)
- Hoch, F.L., und Vallee, B.L. The metabolic role of zinc. In: Trace Elements S. 337-363, Academic Press, New York 1958.

- Höfner, W. Untersuchungen über die Auswaschung und Sorption des Zinks im Boden und über die Zinkaufnahme der Pflanzen. Diss. der Landw. Fakultät Gießen 1957.
- Hoffmann, F. Die Bedeutung gesteigerter N- und K-Gaben und des Bodentyps auf das Wachstum und Ernährung von Rot- (Tech-) tannensämlingen. Albrecht Thaer Archiv 8, 675-698 (1964)
- Hofmann, Ed., und Aigner, H. Nährstoffentzug, Nährstoffverwertung und Nährstoffverhältnis in Abhängigkeit von versch. Düngung. Bayr. Landw. Jb. 42, 141-156 (1965)
- Hopkins, E. F., Pagan, V., und Ramirez-Silva, F. J. Iron and manganese in relation to plant growth and its importance in Puerto-Rico. J. Agr. Univ. Puerto-Rico 28, 43-99 (1944)
- Jakolewa, W. W. Die Bedeutung des Bors für den Kohlenhydratstoffwechsel der Pflanzen. In: Spurenelemente in der Landwirtschaft, S. 93, Akademie Verl., Berlin 1958.
- Judy, N., Lessman, G., Rozycka, T., Robertson, L., und Ellis, B. Field and laboratory studies with zinc fertilisation of pea beans. Quart. Bull., Rep. Res. Michigan State Univ., agric. Exp. Sta. 46, 386-400 (1964)
- Kahn, J. S., und Hanson, J. B. The effect of calcium on potassium accumulation in corn and soybean roots. Plant Physiol. 32, 312 (1957)
- Karin, A. Q. M. B., und Deras, O. Effects of micronutrients on the absorption of major elements in mustard. Soil Sci. 92, 408-412 (1961)
- Karin, A. Q. M. B., und Vlamis, J. Micronutrient deficiency symptoms of rice grown in nutrient culture solutions. Plant and Soil 16, 347-360 (1962)
- Kelly, J. E., und Gabelman, W. H. Variability in the mineral composition of red beet (*Beta vulgaris* L.) varieties in relation to boron nutrition. Proc. Amer. Soc. hort. Sci. 76, 416-424 (1960)

- Kenten, R.H., und Hann, J.J.G. The oxidation of certain dicarboxylic acids by peroxidase systems in presence of manganese. Biochem.J. 53, 498-505 (1953)
- Kloke, A., und Schmidt, J. Bormangel bei Sellerie. Nachrichtenblatt d. dtsh. Pflanzenschutzdienstes 14, 123-125 (1962)
- Krauja, A. The influence of trace elements on the germination force of seeds and on some biochemical processes in plants. I. Acad. Sci. of Latvian SSR Riga, 145-216, (1958)
- Kretschmer, H. Einfluß von Bor auf Wachstum, Ertrag und Zusammensetzung von Senf (*Sinapis alba* L.) Albrecht Thaer Archiv 8, 337-352, (1964)
- Kursanov, A. Endeavour, 22, 77, 19 (1961)
- Lates, G.G. Active transport of salt into plant tissue. Ann. Rev. Plant Physiol. 10, 87 (1959)
- Leggett, J.E., und Epstein, E. Kinetics of sulfate absorption by barley roots. Plant Physiol. 31, 22 (1956)
- Lehmann, K. Einfluß variierter Mg- und Mn-Gaben auf Kationenaufnahme und Mg-Fractionen bei Spinatpflanzen. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 106, 111-116 (1964)
- Löhnis, M.F. Manganese toxicity in field and market garden crops. Plant and Soil 3, 193-222 (1951)
- Löhnis, M.F. Effect of magnesium and calcium supply on the uptake of manganese by various crop plants. Plant and Soil 12, 339-376 (1960)

- Loneragan, J.F. The effect of applied phosphate on the uptake of zinc by flax. J.sci.Res., Ser.B. 4, 108 (1951)
- Lopez, M.H. s.Hernandez-Medina, L. und Lugo-Lopez, M.H. (1958)
- Lundegårdh, H. Die Nährstoffaufnahme der Pflanze. Verl.G.Fischer, Jena 1932.
- Lundegårdh, H. Die Blattanalyse. Verl.G.Fischer, Jena 1945
- Lundegårdh, H. Mechanisms of absorption, transport, accumulation, and secretion of ions. Ann.Rev.Plant.Physiol. 6, 1 (1955)
- Lundegårdh, H., und Burström, H. Biochem.Z.261, 235-251 (1933)
- Lundegårdh, H., und Burström, H. Biochem.Z.277, 223-249 (1935)
- Maché, R. A study of respiration and activity of some oxidases in the leaves of buck-wheat (*Eragrostis escul.M.*), deficient in or well-supplied with boron. - C.R.Acad.Sci.Paris 253, 1583-1585 (1963)
- Mc Donald, J.R., Dekock, P.O., und Knight, A.H. Variations in the mineral content storage tissue disks maintained in tap water. - Physiol.Plantarum 13, 76-89 (1960)
- Mc Elroy, W.D., und Nason, A. Mechanism of action of micronutrient element in enzyme systems. Ann.Rev.Plant Physiol.5, 1-30 (1954)
- Mc Harbue, J.S., und Calfee, R.K. Manganese essential for the growth of *Lemna minor*. Plant Physiol.7, 697-703 (1932)
- Mc Ilrath, W.J., und De Bruyn, J.A. Calcium-boron relationship in Siberian millet. - Soil Sci.81, 301-310 (1956)

- Mc Ilrath, W.J., Brereton, J., and Skok, J. Influence of boron supply on the micro-nutrient element content of Beta vulgaris shoots. Soil.Sci. 89, 117-121 (1960)
- Mc Ilrath, W.J., and Palmer, B.F. Responses of tomato, turnip and cotton to variations in boron nutrition. I. Physiological responses. Bot.Gaz. 118, 43 (1956)
- Mc Ilrath, W.J., and Skok, J. Boron requirement of Chlorella vulgaris. - Bot.Gaz. 119, 231 (1958)
- Mc Lean, E.C. Der Einfluß des N-Gehaltes auf Pflanzenwachstum und Nährstoffaufnahme. Proc.Soil.Sci.Soc.Amer. 21, 219-222 (1957)
- Marschner, H. Untersuchungen über die Aufnahme von Cäsium durch isolierte Gerstenwurzeln. Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 95, 30-51 (1961)
- Marschner, H., and Mengel, K. Der Einfluß von Ca- und H-Ionen bei unterschiedlichen Stoffwechselbedingungen auf die Membranpermeabilität junger Gerstenwurzeln. Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 112, 39-49 (1966)
- Marsh, R.F. Comparative study of the calcium-boron metabolism of dicots and monocots. Soil.Sci. 53, 75-78 (1942)
- Marsh, R.F., and Shive, J.W. Boron as a factor in calcium metabolism of the corn plant. Soil Sci. 51, 141-151 (1941)
- Martin, J.F. Growth of sugar cane in nutrient solutions. - Hawaiian Planters Record 39, 79-96 (1935)
- Maynard, D.N., Gersten, B., and Michelson, L.F. The effect of boron nutrition on the occurrence of certain tomato fruits disorders. Proc.Amer.Soc.hort.Sci. 74, 500-505 (1959)

- Mazé, r. Influence respective des éléments de la solution minérale sur le développement du maïs.
Ann.inst.rasteur 28, 1-5 (1914)
- Mengel, K. Ernährung und Stoffwechsel der Pflanzen. - VEB G.Fischer Verlag, Jena 1961/1965
- Mengel, K. Die K- und Ca-Aufnahme der Pflanze in Abhängigkeit vom Kohlenhydratgehalt ihrer Wurzel.
Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 98, 44-54 (1962)
- Mengel, K. Der Einfluß des Stoffwechsels auf die Aufnahme und Verteilung von markiertem Kalium bei Sonnenblumen.
Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 98, 57-63 (1962)
- Mengel, K., und Marschner, H. Apparent free space (AFS).
Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 98, 30-44/54 (1962)
- Mengel, K., und Marschner, H. Die aktive Ionenaufnahme durch die Pflanzenselle.
Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 100, 193-207 (1963)
- Messing, J.H.L., und Owen, O. The visual symptoms of some mineral deficiencies on chrysanthemums.
Plant and Soil 5, 101-120 (1954)
- Michael, G., und Schilling, G. Strontium in der höheren Pflanze. I. Die Aufnahme des Strontiums durch Erbsen und Hafer und seine Wirkung auf das Pflanzenwachstum.
Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 91, 147 (1960)
- Mininberg, S.Ya. The effect of manganese and boron on the stability of the band between chlorophyll and protein complexes in grape leaves.
Zit.in: Biol.Abstr.45(61470) (1962)

- Mitchell, I. V., Schneider, I. R., und Gauch, H. G. Translocation of particles within plants. - Science 131, 1863 (1960)
- Mudd, I. B., und Burris, R. E. The participation of metals in peroxidase and catalysed oxidation. Plant Physiol. 33, Suppl. XXXIX (1958)
- Nason, A. Enzymatic steps in the assimilation of nitrate and nitrite in fungi and green plants.
In: "Inorganic Nitrogen Metabolism" S. 109-136. John Hopkins Press, Baltimore, 1956.
- Nason, A. The function of metals in enzyme systems Soil Sci. 85, 63-77 (1958)
- Nason, A., Abraham, R. G., und Averbach, B. C. The enzymatic reduction of nitrite to ammonia by reduced pyridine nucleotides Biochem. biophysica Acta 15, 160 (1954)
- Nason, A., Kaplan, N. O., und Oldenwurtel, H. A. Further studies of nutritional conditions affecting enzymatic constitutions in Neurospora. J. Biol. Chem. 201, 453 (1953)
- Nason, A., und Mc Elroy, W. D. Modes of action of essential mineral elements. In: Plant Physiol. III, S. 451-536. Acad. Press, New York-London 1963.
- Neales, T. F. Effect of boron supply on the sugars soluble in 80 per cent ethanol in flax seedlings. Nature 183, 483 (1959a)
- Neales, T. F. The boron requirement of flax roots grown in a steril culture. J. exp. Bot. 10, 426 (1959b)
- Neales, T. F. Some effects of boron on root growth. Austral. J. Biol. Sci. 13, 232-248 (1960)
- Neish, A. C. Studies on chloroplasts. Biochem. J. 33, 300 (1939)

- Nicholas, D.J.D. Pathological symptoms produced by mineral micronutrient disorders in crop plants. Landwirtsch.Forsch. 6, Sonderh., 62-70 (1956)
- Nicholas, D.J.D. Determination of minor element levels in soils with the *Aspergillus niger* method. Vortr.auf d.Kongr.d.Intern.Bodenkundl.Gesellsch., Madison USA 1960.
- Nicholas, D.J.D. Minor mineral nutrients. Ann.Rev.Plants Phys. 12, 63-90 (1961)
- Nicholas, D.J.D., und Goodman, T. The effects of deficiencies of zinc and iron on some enzyme systems in *Neurospora*. J.exp.Bot. 9, 97 (1958)
- Odhnoff, C. Boron deficiency and growth. Physiol.Plantarum 10, 984 (1957)
- Odhnoff, C. The influence of boric acid and phenylboric acid on the root growth of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Physiol.Plantarum 14, 187-220 (1961)
- Okanenko, A.S., und Ostrowskaja, Tr.K. Über die physiol.Bedeutung des Kupfers für den Anbau von Kok-Saghyz auf Moorböden. In: Spurenelemente in d.Landwirtschaft, S.407, Akad.Verlag, Berlin 1958.
- O'Kelly, J.C. Boron effects on growth oxygen uptake and sugar absorption by germinating pollen. Amer.J.Bot. 44, 239-244 (1957)
- Okunzov, M.M. The influence of copper on the formation of chlorophyll. Doklady Akad.Nauk SSSR 57, 407 (1947) Zit.in: Chem.Abstr. 44, 9009
- Okunzov, M.M. Die Bedeutung des Kupfers für die Steigerung der Pflanzenerträge. In: Spurenelemente in der Landwirtschaft, S.379, Akademie Verlag, Berlin 1958.

- Otting, A. Borgehalt und Verteilung des Bors in verschiedenen Pflanzen. Z.pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 55, 235-247 (1951)
- Overstreet, R., und Jacobsen, L. Mechanisms of ion absorption by roots. Ann.Rev.Plant Physiol. 3, 189-206 (1952)
- Ozanne, P.G. The effect of nitrogen on zinc deficiency in subterranean clover. Austral.J.Biol.Sci. 8, 47-55 (1955)
- Ozanne, P.G. The effect of light on zinc deficiency in subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.). Austral.J.Biol.Sci. 8, 344-353 (1955)
- Faribok, T.A., und Kuznecova, G.N. Die Aufnahme von Spurenelementen und die Rentilisierung des Zinks durch Tomatenpflanzen bei Zinkmangel. Agrochimija, Moskva 3, 72-79 (1964)
- Faribok, T.A., Kuznecova, G.N., und Alekseeva-Popova, N.V. Einfluß von Zink-, Kupfer- und Eisenmangel auf den Eintritt von Mikroelementen in die Pflanzen. Agrochimija, Moskva 2, 98-105 (1964)
- Farbaskash, V., und Subbiak, B.V. Die Verteilung von radioaktivem Kalzium (^{45}Ca) und radioaktivem Schwefel (^{35}S) in Zitrusssämlingen bei Normal- und Mangelernährung mit verschiedenen Mikronährstoffen. Soil Sci. and Plant Nutr. 11, 164-170 (1965)
- Farberry, N.H. The excessive uptake of manganese by beans showing scald and magnesium deficiency. Agr.Gaz.N.S.Wales 54, 14-17 (1943)
- Leive, I.W., und Rinke, R.S. Die Wirksamkeit von Molybdän, Zink und Bor als Düngemittel in Form von Glasmasse und als Industrieabgänge. Nachr.Akad.wiss.Lett.SSR, 53-62 (1957)

- Fospisilova, I., Toul, V.,
und Vlcek, F. Untersuchungen des Gehaltes einiger
Spurenelemente in Nährlösungen und
Einfluß von Überfluß an Zink.
Vedecké práce výzkumného Ústavu Zeli-
nárského und Olomouci 3, 47-76 (1964)
- Prevot, P., und Ollagnier,
M. Plant Analysis and Fertilizer Problems,
S. 177-195 (Institut de Recherches pour
les Huiles et Oléagineux, Paris 410pp
1957.
Zit.n. Smith, P.F.: Mineral analysis of
plant tissues. Ann. Rev. Plant Physiol.
13, 81-108 (1962)
- Reed, H.S. The relation of copper and zinc salts
to leaf structure.
Amer. J. Bot. 26, 29-33 (1938/1939)
- Reed, H.S. Effects of zinc deficiency on phosphate
metabolism of the tomato plant.
Amer. J. Bot. 33, 778-784 (1946)
- Reed, H.S. A physiological study of boron defi-
ciency in plants.
Hilgardia 17, 377-411 (1947)
- Rees, W.J., und Sidrak,
G.H. Interrelationships of aluminium and
manganese toxicities towards plants.
Plant and Soil 14, 101-117 (1961)
- Reeve, E., und Shive, J.W. Potassium-boron and calcium-boron
relationships in plant nutrition.
Soil Sci. 57, 1-14 (1944)
- Riceman, D.S., und Jones,
G.B. Distribution of zinc and copper in
subterranean clover (Trif. subt. L.)
grown in culture solutions supplied
with graduated amounts of zinc.
Austral. J. Agric. Res. 9, 73, 123 (1958a)
- Riceman, D.S., und Jones,
G.B. Distribution of dry weight and of
zinc and copper among the individual
leaves of seedling of subterranean
clover (Trif. subt. L.) grown in com-
plete culture solution and in a cul-
ture solution deficient in zinc.
Austral. J. Agric. Res. 9, 446-463 (1958b)

- Riceman, D.S., und Jones, G.B. Distribution of zinc and copper in subterranean clover (Trif. subt. L.) grown to maturity in a culture solution containing zinc labelled with the radioactive isotope ^{65}Zn . Austral. J. Agric. Res. 9, 730-744 (1958c)
- Riceman, D.S., und Jones, G.B. Distribution of zinc in subterranean clover (Trif. subt. L.) during the onset of zinc deficiency as determined by the radioactive isotope ^{65}Zn . Austral. J. Agric. Res. 11, 162-168 (1960)
- Riehm, H. Die Borfrage im Luzernebau. Landwirtsch. Forschung, 2. Sonderh., 106-113 (1957)
- Rinne, R.W., und Langston, R.G. Effect of growth on distribution of some mineral elements in peppermint. Plant Physiol. 35, 210 (1960)
- Rippel, A. Über die durch Mangan verursachte Eisenchlorose bei grünen Pflanzen. Biochem. Z. 140, 315-323 (1923)
- Robertson, R.N. Biological Reviews, 35, 231 (1960)
- Rohde, R. Bor und Wuchsstoffe. Z. Landwirtschaft 2, 208 (1951)
- Roscoe, E., Davis, J.F., und Thurlow, D.L. Zinc availability in calcareous Michigan soils as influenced by phosphorus level and temperature. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 28, 83-86 (1964)
- Rosell, R.A., und Ulrich, A. Critical zinc concentrations and leaf minerals of sugar beet plants. Soil Sci. 97, 152-167 (1964)
- Russell, E.W. Soil conditions and plant growth. S. 688. Wiley, New York, 1961.
- Ruszkowska, M. Der Einfluß des Mangans auf die Photosynthese höherer Pflanzen. Acta. Soc. bot. polon. 33, 485-505 (1964)

- Sadana, J.C., und Le Elroy, N.D. Nitrate reductase from *Achromobacter fischeri* purification and properties; function of flavines and cytochrome. Arch.Biochem.Biophysics 67, 16-33 (1957)
- Sadaphal, M.N., und Das, N.B. Effect of micronutrient elements on wheat. II. Effect on yield and chemical constituents. J.Ind.Soc.Soil Sci.9, 257-267 (1961)
- Sands, R.H., und Beinert, H. On the function of iron in D₂NH cytochrome-C-reductase. Biochem.Biophys.Research Commun 1, 171-174 (1959)
- Scharrer, K. Die Bedeutung der agrikultur-chemischen Forschungen Liebig's für die Landwirtschaft. Bericht üb.Landw. N.F.31 (1953)
- Scharrer, K. Biochemie der Spurenelemente. F.Parey Verlag, Berlin-Hamburg 1955.
- Scharrer, K. Aufgaben und Wirkungen der Mikronährstoffe im Leben der Pflanze in 100 Jahre erfolgreicher Düngerwirtschaft. Generalberichte des III.Weltkongresses für Düngungsfragen. S.163-192. J.D.Sauerländers Verlag, Frankfurt/M. 1957.
- Scharrer, K., und Jung, J. Über den Einfluß von Mangan, Kupfer, Zink, Eisen, Bor, Molybdän und Kobalt auf die Mineralstoffaufnahme bei Mais und Ackerbohnen. Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 75, 47-66 (1956)
- Scharrer, K., Schreiber, R., und Kühn, H. Gefäßversuche mit Futter- und Zuckerrüben über die Wirkung des Bors im Bor-Super- und Bor-Rhenaniaphosphat. Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 62, 203 (1953)
- Scharrer, K., und Werner, W. Über die Abhängigkeit des Ascorbinsäuregehaltes der Pflanze von ihrer Ernährung. - Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 77, 97 (1957)

- Scheffer, F., und Kolke, A. Nährstoffwirkung und chemische Zusammensetzung der Nahrungspflanzen. Z.Landwirtsch.Forsch., 8, Sonderh., 49-61 (1956)
- Schkolnik, M.J. Die physiologische Bedeutung der Spurenelemente für die Pflanze. In: Spurenelemente in der Landwirtschaft, S.35-54, Akademie Verl., Berlin 1958.
- Schkolnik, M.Ja., und Davydova, V.N. Die Wirkung von Zink und Vitamin-B₁ und -B₆ auf den Einbau des mit ¹⁴C markierten Tyrosins in das Eiweiß. Dokl.Akad.Nauk.161, 1465-1466 (1965). Zit.in: Soils and Fertilizers S.587 (1965)
- Schkolnik, M.Ja., und Saakov, V.S. Effect of traceelements on intensity of photosynthesis and translocation of assimilation products. Fiziol.Rast.11, 783-792 (1964). Zit.in: Soils and Fertilizers, S.123 (1965)
- Schkolnik, M.Ja., und Soloveva-Troickaja, E.A. Die physiologische Rolle von Bor: 3. Mitteilung: Über die Ursachen der besonderen Rolle von Bor bei der Bildung reproduktiver Organe und bei der Fruchtbildung. Botaniceskij Zurnal, Moskwa-Leningrad 47, 1414-1425 (1962)
- Schmucker, T. Über den Einfluß von Borsäure auf Pflanzen, insbesondere keimende Pollenkörner. Planta 23, 264 (1934)
- Scholz, G. Über die Translokation des Bors in Tabak-Stecklingen mit geteilten Wurzelsystemen. Flora 148, 484-488 (1960)
- Schropp, W. Bor und Leguminosen. Arb.und Ber.der Süddeutschen Versuchs- und Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, Weihenstephan 2, 83 (1957)

- Shive, T.W. The effect of boron in the substrate on calcium accumulation by soybean plants.
Amer.J.Bot.26, 827-831 (1939)
- Sisler, E.C., Dugger, W.M., and Gauch, H.C. The role of boron in the translocation of organic compounds in plants.
Plant Physiol. 31, 11 (1956)
- Skok, J. The substitution of complexing substances for boron in plant growth.
Plant Physiol. 32, 308-312 (1957a)
- Skok, J. Relationship of boron nutrition to radiosensitivity of sunflower plants.
Plant Physiol. 32, 648 (1957b)
- Skok, J. The role of boron in the plant cell.
In: Trace Elements, S.227-243, Academic Press, New York 1958.
- Skok, J., und Mc Ilrath, W.J. Distribution of boron in cells of dicotyledonous plants in relation to growth. - Plant Physiol. 33, 428 (1958)
- Skoog, F. Relationship between zinc and auxin in the growth of higher plants.
Amer.J.Bot.27, 939-951 (1940)
- Smith, M.E. The role of boron in plant metabolism.
Austral.J.exp.Biol.med.Sci. 22, 257 (1944)
- Smith, P.F., Reuther, W., und Specht, A.W. Mineral composition of chlorotic orange leaves and some observations on the relation of sample preparation technique to the interpretation of results.
Plant Physiol. 25, 496-506 (1950)
- Smith, P.F., Reuther, W., Specht, A.W., und Hrcniar, G. Plant Physiol. 29, 349-355 (1954)
Zit.in: Mineral analysis of plant tissue, Ann.Rev.Plant Physiol. 13, 81-108 (1962)
- Somers, J.J., und Shive, J.W. The iron manganese relation in plant metabolism.
Plant Physiol. 17, 582 (1942)

- Commer, A.J. Further evidence of the essential nature of zinc for the growth of higher green plants. *Plant Physiol.* 3, 217-221 (1928)
- Commer, A.J., und Tipman, J.E. Evidence on the indispensable nature of zinc and boron for higher green plants. *Plant Physiol.* 1, 231-249 (1929)
- Spurr, A.R. The effect of boron on cell-wall structure in celery. *Amer. J. Bot.* 44, 637-650 (1957)
- Steegmann, G. Die Bedeutung der Spurenelemente für Chlorella. *Z. Bot.* 35, 385-422 (1940)
- Steineck, O. Der Einfluß steigender Ionenkonzentration auf den Mineralstoffgehalt von Tomaten (*Solanum lycopersicum* L.) bei konstanter Darbietung. *Bodenkultur* 15, 340-358 (1964)
- Stenuit, D., und Piot, R. Mangan-Mangel und Mangan-Vergiftung an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. *Agricultura* 8, 141-172 (1960)
- Steward, F.C. Protoplasma, 18, 208 (1933)
- Stout, F.R. Micronutrients in crop vigor. *Agric. Food Chem.* 4, 1000-1006 (1956)
- Stukenholtz, D.D. Zinc-phosphorus relationships in corn: The influence of temperature incubation and applied nitrogen, phosphorus and zinc. *Diss. Abstr.* 25, 5483 (1965)
- Suikovs'kyi, Z. The effects of trace elements on the pigment system of agricultural plant and photosynthesis. *Zit. in: Biol. Abstr.* 45, 79386 (1963)
- Sutcliffe, J.F. The selective uptake of alkali cations by red beet root tissue. *J. exp. Bot.* 8, 36 (1957)

- Sutcliffe, J.F. Mineral salt absorption in plants. Pergamon Press, New York, Oxford, London, Paris 1962.
- Swanback, T.R. Studies on antagonistic phenomenon and cation absorption in tobacco in the presence and absence of manganese and boron. Plant Physiol. 14, 423-426 (1939)
- Syworotkin, G.S. Über den Borgehalt von Pflanzen mit einem Milchsaftegefäßsystem. In: Spurenelemente in der Landwirtschaft, S.283-288, Akademie Verl., Berlin 1958.
- Tagi-Zade, A.K.H. The effect of external root feeding of plants with trace elements on the intensity of photosynthesis. (1962). Zit.in: Soils and Fertilizers S.66 (1965)
- Taper, C.D., und Leach, W. The effect of calcium concentration in culture solutions upon the absorption of iron and manganese by dwarf kidney beans. Canad.J.Bot. 35, 773-777 (1957)
- Taylor, J.B., und Joiner, J.N. Effect of three levels each of manganese, zinc and disodium ethylenebis-dithiocarbamate on growth and chemical composition of Chrysanthemum morifolium "Iceberg". Proc.Amer.Soc.hort.Sci. 83, 761-768 (1963)
- Thompson, J.W. Effects of fertilizers and soil amendments on the mineral constituents of maize. Soil Sci. 94, 323-330 (1962)
- Thomson, W.W., und Weier, T.E. The fine structure of chloroplasts from mineral deficient leaves of Phaseolus vulgaris. Amer.J.Bot. 49, 1047-1055 (1962)

- Thorne, D.W., und Wiebe, H.A. Solubility and plant utilization of micronutrients. Atomic Energy and Agriculture, Publ. No.4. - Amer.Assoc.Advance Sci.49-69 (1957)
- Torssell, K. Chemie der Arylborsäure. VI. Die Wirkung von Arylborsäure auf das Wachstum von Weizenwurzeln und die Rolle des Bors in der Pflanze. Physiol.Plantarum 2, 652-664 (1954)
- Toth, S.J., und Romney, E.M. Manganese studies with some New Jersey soils. Soil Sci.78, 295-303 (1954)
- Tsui, C. The role of zinc in auxin synthesis in the tomato plant. Amer.J.Bot.35, 172-179 (1948)
- Udovenko, G.V., Ivanov, N.F., Lozhkina, M.N. et al. Effect of composition of the nutrient medium on utilisation of potassium from solution by plants. Fiziol.Rast.11, 638-648 (1964)
- Viets, F.G. Calcium and other polyvalent cations as accelerators of ion accumulation by excised barley roots. Plant Physiol.19, 466 (1944)
- Viets, F.G., Boawn, L.C., and Crawford, C.L. Zinc contents and deficiency symptoms of 26 crops grown in a zinc deficient soil. Soil.Sci.78, 305-316 (1954)
- Vlamis, J., und Williams, D.E. Iron and manganese relations in rice and barley. Plant and Soil 20, 221-231 (1964)
- Vose, R.B., und Griffiths, D.J. Manganese and magnesium in the grey speck syndrome of oats. Nature 191, 299-300 (1961)
- Vose, R.B., und Jones, D.G. The interaction of manganese and calcium on nodulation and growth in varieties of Trifolium repens. Plant and Soil 17, 372-385 (1963)

- Walaas, E. Acts Jnem.Scand.16, 500 (1950)
Zit.in: Biochem.d.Mineral- und Spu-
renelemente, Th.Bersin, Akad.Verlags-
gesellsch., Frankfurt/M. 1963.
- Wallace, A., Jefferies, R.A., Differential ability of two soybean
und Hale, V.Q. varieties to take up ⁵⁹Fe from soil
added to a nutrient solution.
Soil Sci.94, 111-114 (1962)
- Wallace, T. The diagnosis of mineral deficiencies
in plants by visual symptoms.
Her Majesty's Sta.Office, London 1961.
- Warrington, K. The influence of iron supply on the
toxic effects of manganese, molybde-
num and vanadium on soybean, peas and
flax. - Ann.Appl.Biol.41, 1-22 (1954)
- Washenin, J.G., und Belja- Der Einfluß von Bor, Brom und Jod auf
kowa, B.J. Ertrag und Fermentaktivität der Kar-
toffeln auf leichten podsolierten
Rasenböden.
In: Spurenelemente in der Landwirtsch.,
Akademie Verl., S.151-166, Berlin 1958.
- Weeks, W.D. The effect of rates and sources of
nitrogen, phosphorus and potassium on
the mineral composition of Mc Intosh
foliage and fruit color.
Proc.Amer.Soc.hort.Sci.60, 11-21 (1958)
- Weeks, W.D. The effect of varying rates of nitro-
gen and potassium on the mineral com-
position of Mc Intosh foliage and
fruit color.
Proc.Amer.Soc.hort.Sci.71, 11-19 (1958)
- Weiß, M.G. Genetics 28, 253 (1943) Zit.n.Gerloff,
G.C., Ann.Rev.Plant Physiol.14, 107-
124 (1963)
- Whittington, W.J. The role of boron in plant growth:
I.The effect on general growth, seed
production and cytological behaviour.
J.exp.Bot.8, 353 (1957)
- Whittington, W.J. II.The effect on growth of the radicle.
J.exp.Bot.10, 93 (1959)

- Wiesemiller, .. Stickstoffdüngung und Inhaltsstoffe in verschiedenen Futterpflanzen. Z.landw.Versuchs- und Untersuchungs- wesen 2, 199-213 (1963)
- Williams, D.E., und Vlamis, J. Manganese toxicity in standard culture solutions. Plant and Soil 8, 183-193 (1957)
- Wlassjuk, P.A. Die Anwendung manganhaltiger Düngemittel auf verschiedenen Böden zur Steigerung der Erträge. In: Spurenelemente in der Landwirtschaft, S.289, Akademie Verl., Berlin 1958.
- Wlassjuk, P.A. Einfluß von Spuren- und Ultraspuren- elementen auf die Qualität der land- wirtschaftlichen Produktion. Berlin, Landw.Union-Akad., 3-7 (1959)
- Wlassjuk, P.A., und Porudzig, G.V. Manganernährung und erhöhte Lebens- fähigkeit des Pflanzenkörpers. Zurn obsc.Biol.15, 47-58 (1954)
- Woltz, S., Toth, S.J., und Bear, F.E. Zinc status of New Jersey soils. Soil Sci.76, 115-122 (1953)
- Wood, J.G., und Sibly, P.M. Carbonic anhydrase activity in plants in relation to zinc content. Austral.J.Sci.Research 2, 244-255 (1952)
- Yates, M.G., und Halls- worth, E.G. Some effects of copper in the metabo- lism of nodulate subterranean clover. Plant Physiol.19, 265-284 (1963)
- Younts, S.E. Die Wirkung von Menge, Zeitpunkt der Zugabe und Art der Kupferverbindung und anderer Nährstoffe auf Weizen. Agron.J.56, 266-269 (1964)

Scharrer, K., Kühn, H.,
und Lüttmer, J.

Die Borbestimmung mit Chinalizarin in Pflanzen, Böden und Düngemitteln.
Landwirtsch. Forsch., Bd. 8, 26-32
(1955)

Scharrer, K., und Mengel, K.

Die Bestimmung von K, Na, Ca, Mg und P in physiologischen Flüssigkeiten.
Z. Tierphysiol., Tierernähr. und Futtermittelkunde, Bd. 15, 1-18
(1960)

Schaumlöffel, E.

Über die colorimetrische Bestimmung der Mikronährstoffe Cu, Zn, Co, Mn, Fe und Mo aus einer Aschenlösung durch fraktionierte Extraktion.
Landwirtsch. Forsch., Bd. 13, 278-286 (1960)

Zum Abschluß dieser Arbeit sei es mir gestattet, meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr.Dr.h.c. H. Linser, für die Überlassung des Themas, für die wissenschaftliche Anleitung und für die mir in jeder Hinsicht zuteil gewordene großzügige Unterstützung und Förderung sehr herzlich zu danken.

Besonderen Dank schulde ich aber auch Herrn Professor Dr. H. Kühn für das große Interesse an der vorliegenden Arbeit, für seine wertvollen Ratschläge und seine wissenschaftliche Anregungen sowie für seine immerwährende Hilfsbereitschaft.

Ferner danke ich allen Damen und Herren des Instituts für Pflanzenernährung, sowie Herrn Professor Dr. W. Jahn-Deesbach, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung Gießen, für ihr jederzeit freundliches Entgegenkommen und ihre stete Hilfsbereitschaft bei der Fertigstellung der Arbeit.

L e b e n s l a u f

Am 1.4.1934 wurde ich als Sohn des Landwirtschaftsassessors Otto Schönheit und dessen Ehefrau Lucie, geb. Weiß, in Darmstadt geboren.

Von 1940 bis 1944 besuchte ich die Volksschule in Darmstadt, Lauterbach, Altenburg und Alsfeld. Von Herbst 1944 bis zum Abitur am 3.3.1955 war ich Schüler des Realgymnasiums Alsfeld.

Nach 2-jähriger landwirtschaftlicher Lehrzeit begann ich im Sommersemester 1957 an der Justus Liebig-Universität Gießen mit dem Studium der Landwirtschaft. Am 14.11.1960 legte ich an gleicher Stelle die Diplomprüfung ab.

Nach Besuch eines chemischen Praktikums erfolgte ab März 1961 im Institut für Pflanzenernährung in Gießen unter der Anleitung von Herrn Professor Dr. H. Linser und Herrn Oberassistent Dr. H. Kühn meine vertiefte Ausbildung auf dem Gebiet der Pflanzenernährung. In der Folgezeit wurde die vorliegende Arbeit angefertigt.

